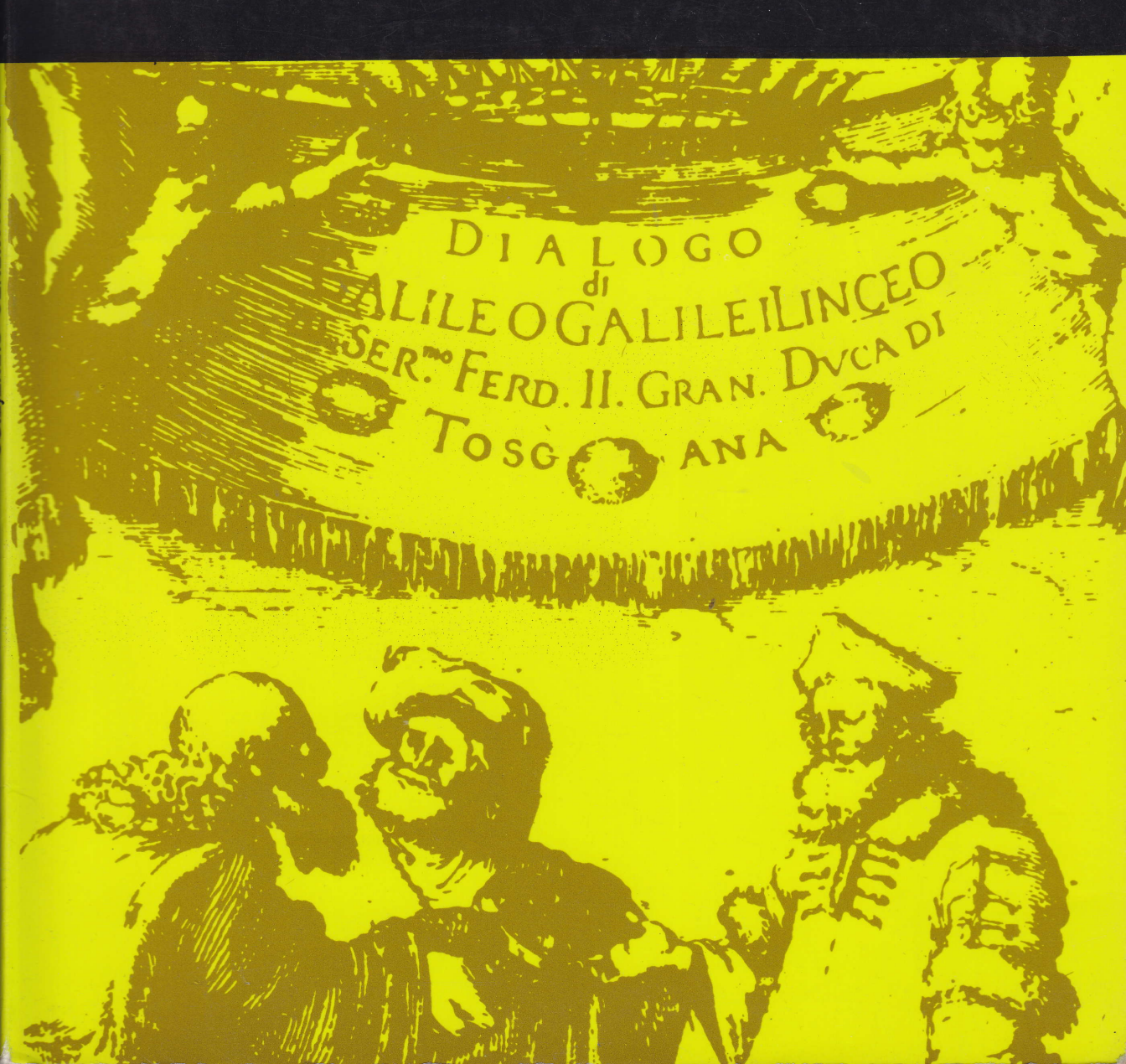
37 CUADERNOS

eudeba

L. Geymonat

EL PENSAMIENTO CIENTÍFICO



Geymonat, Ludovico
El pensamiento científico / Ludovico Geymonat; trad. por José Babini, 14a. ed. de la 3ra. edición en italiano de 1958, Buenos Aires: EUDEBA, 1994.
68 p. (Cuadernos)

ISBN 950-23-0563-X

CC

37 CUADERNOS DE EUDEBA

EL PENSAMIENTO CIENTÍFICO

LUDOVICO GEYMONAT

EDITORIAL UNIVERSITARIA DE BUENOS AIRES

Título de la obra original: *Il pensiero scientifico*
Aldo Garzanti, Milán 1954

Traducido de la tercera edición (1958) por:
José Babini

Decimocuarta edición: Marzo de 1994.

EUDEBA S.E.M
Fundada por la Universidad de Buenos Aires

© 1994 EUDEBA S.E.M. - Editorial Universitaria de Buenos Aires Sociedad de Economía Mixta, Av. Rivadavia 1573, (1033) Buenos Aires, República Argentina

Queda hecho el depósito que marca la ley 11.723
Derechos reservados
ISBN 950-23-0563-X
IMPRESO EN LA ARGENTINA PRINTED IN ARGENTINE

INTRODUCCIÓN

Ya no se discute hoy en día la importancia de la ciencia. Sus descubrimientos se suceden con ritmo apremiante; sus aplicaciones técnicas logran éxitos cada vez más sorprendentes, de profunda repercusión en la vida de los pueblos, en su economía, en su potencialidad. De ahí el interés día tras día mayor —no sólo entre los científicos, sino también entre las personas sensibles a la cultura— por ver claro en ese largo y fatigoso proceso a través del cual la humanidad alcanzó el "conocimiento científico"; por entender qué es lo característico en el planteo científico de los problemas, en la creación de las teorías, en la elaboración de las hipótesis, principios, métodos; en una palabra, por comprender, en sus líneas fundamentales, la estructura constitutiva del pensamiento científico.

Dos son los senderos que permiten encaminar al lector en este tipo moderno e interesante de investigación: uno es el histórico, el cual consiste en hacerle seguir paso a paso el nacimiento y los sucesivos desarrollos del pensamiento científico; el otro es el teórico, y consiste en exponer, aunque sea esquemáticamente, los grandes debates actuales acerca de los fundamentos de la ciencia. En este trabajo trataré de valerme unas veces del primero y otras del segundo, para lo cual los integraré alternativamente y, cuando sea posible, sintetizaré el uno con el otro. En todo caso, evitaré cualquier discusión demasiado particular, pues mi propósito es que de los propios hechos surja lo que constituye, a mi entender, el núcleo central del problema.

Aun como expositor y defensor de la interpretación del pensamiento científico a la que he llegado gradualmente a través de muchos años de investigación personal, no trataré de ocultar las dificultades; mi propósito, ante todo, es que el lector advierta el interés del problema y se sienta atraído a estudiarlo por su cuenta con toda la amplitud que exige.

CAPÍTULO I

COMIENZOS DEL PENSAMIENTO CIENTÍFICO
(Pitágoras)

1. Suele afirmarse que la ciencia nació en Grecia, con Tales, Pitágoras y los físicos-filósofos del siglo v a. C. Sin embargo, las investigaciones modernas dicen que no fueron los griegos quienes inventaron las primeras nociones de geometría, astronomía, etcétera; las aprendieron de los egipcios y de los asirio-babilonios, que en estos campos de investigaciones ya habían realizado descubrimientos indudablemente muy importantes con varios siglos de anterioridad.

¿Cuál fue entonces la aportación decisiva de los griegos? ¿Qué justifica la atribución de la gloria —a ellos asignada— de haber dado nacimiento al pensamiento científico cabal y verdadero?

Proclo, un neoplatónico del siglo v d. C., en el célebre "Resumen histórico" contenido en el prólogo a su comentario del Libro I de Euclides, escribe que —después de Tales y de otros estudiosos de matemática contemporáneos— "Pitágoras transformó ese estudio convirtiéndolo en una enseñanza liberal que se remontaba a los principios generales y estudiaba los problemas abstractamente y con la inteligencia pura". Precisamente en esta transformación, que luego será desarrollada con tanto éxito por Platón, Aristóteles, Euclides, etc., debe buscarse, según los historiadores modernos, la verdadera novedad que introdujeron los griegos. Tal transformación señaló el comienzo de la investigación científica autónoma, pues afirmó la exigencia de un saber racional, irreducible a la simple y mera colección de experiencias de la vida cotidiana. Si es probable —según se ha sostenido como consecuencia de investigaciones más modernas— que también los egipcios y los asirio-babilonios disponían de algún método para probar los resultados obtenidos por lo menos en ciertos campos, queda en pie, sin embargo, que tal método no ha llegado hasta nosotros, y que, *en todo caso*, no fue capaz de garantizar la validez general de los teoremas y de las leyes científicas.

Tomemos como ejemplo la célebre proposición conocida comúnmente como teorema de Pitágoras: sin duda, su validez era conocida, limitada a algunos o, mejor, a varios casos particulares (por ejemplo, cuando las medidas de los catetos son los números 3 y 4 y la de la hipotenusa es 5), por los sacerdotes egipcios y hasta por los chinos muy antiguos. Sin embargo parece cierto que solamente los griegos supieron remontarse de la comprobación de tal validez en varios casos particulares a la demostración de la validez general del teorema. Y, lo que es más importante, sólo ellos supieron luego extraer las consecuencias más atrevidas del reconocimiento de dicha validez, hasta deducir un hecho matemático que contradecía evidentemente no sólo la experiencia de la vida diaria, sino las teorías filosóficas

entonces más difundidas, es decir, la existencia de segmentos inconmensurables entre sí.[1] Este llamado a la razón, ya en la búsqueda de un fundamento general de nuestras proposiciones, ya en el inexorable desarrollo de todas sus consecuencias, constituye el primordial y más importante carácter del pensamiento científico.

2. Dijimos que los antiguos físico-filósofos griegos afirmaron la exigencia de la demostración. Pero, ¿cuál fue el verdadero significado que atribuyeron a este término? Es fácil responder que no podían atribuirle el significado actual; más aún: no pudieron atribuirle ningún valor lógico determinado, pues carecían todavía de una noción exacta de lo que debía ser la lógica (ésta, como disciplina autónoma, sólo fue elaborada con posterioridad y deducida precisamente del conjunto de raciocinios ya impuestos a la consideración general).

El análisis de los escasísimos fragmentos y de los pocos testimonios que han llegado hasta nosotros respecto de las primeras "demostraciones matemáticas" indican que éstas partían de algunas antítesis fundamentales admitidas como evidentes (ser- no ser; uno-muchos; par-impar; lleno-vacío; reposo-movimiento, etc.), y trataban de demostrar por el absurdo, apoyándose en tales antítesis, la imposibilidad de aceptar o de no aceptar ciertas conclusiones.

Aun las discusiones más característicamente "físicas" tendían, sobre todo, a explicar los fenómenos que presentaban aspectos aparentemente contradictorios. Por ejemplo, el fenómeno del "devenir", del "transformarse", respecto del cual se idearon las teorías más variadas. Notable fue la física de Anaxágoras, que, para explicar la trasformación de un ser en otro —del pan que comemos en carne de nuestro cuerpo; de la semilla, nutrida por la tierra, en planta, etcétera—, sostuvo que "todo está en todo", y que, por lo tanto, una cosa puede suscitar la apariencia de transformarse en otra porque contiene, aunque sea en forma invisible, los distintos elementos que componen esta última.

En conclusión: el carácter "científico" de los primeros raciocinios se manifestaba demostrando con mayor generalidad —y no sólo para los casos particulares— la imposibilidad de admitir la coexistencia pacífica de categorías contradictorias; por lo tanto, en verificar toda noción de la experiencia común, sondeándola en todos sus supuestos y en todas sus consecuencias, con el objeto de probar sus eventuales contradicciones y, según los casos, rechazarla o buscar el camino de su justificación.

3. A título de ejemplo será útil exponer un raciocinio muy antiguo, según el cual Pitágoras (o algunos de los primeros pitagóricos) —partiendo del teorema, entonces de conquista reciente, acerca de la equivalencia entre el cuadrado de la hipotenusa y la suma de los cuadrados de los catetos de un triángulo rectángulo— demostró la existencia de segmentos inconmensurables, en contra de toda apariencia empírica y en contra de los propios principios de la filosofía pita-

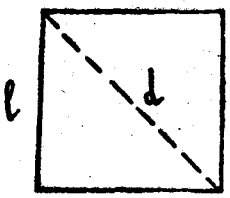
[1] Supongamos dados dos segmentos: a (mayor) y b (menor). Llevemos b sobre a y supongamos que esté contenido, por ejemplo, dos veces con un resto R. Llevemos este resto R sobre b, y supongamos que, por ejemplo, esté contenido tres veces con un resto R'. La definición matemática de la medida nos dice que si al repetir la operación ocurre que en cierto momento no existe resto, los dos segmentos dados son conmensurables. Por ejemplo, si con la hipótesis anterior R' se anula, la medida de a respecto de b será $2 + 1/3 = 7/3$, es decir a será los $7/3$ de b. Ahora bien, como cada resto es más pequeño que el anterior, acabará por ser indiscernible para cualquier observación práctica y, por lo tanto, podemos admitir que prácticamente, en cierto momento, no habrá más resto. Esto equivale a decir que, desde el punto de vista empírico concreto, dos segmentos son siempre conmensurables. Las teorías filosóficas pitagóricas dominantes en la época a la que nos referimos confirmaban tal conclusión. En efecto, sostenían que todo segmento se compone de un número finito de puntos; y es evidente que, de ser las cosas así, dos segmentos resultarían siempre conmensurables, siendo su medida la razón del número de puntos de uno de ellos al del otro.

De ahí que la existencia de segmentos inconmensurables entre sí estaba en evidente contradicción, ya con el punto de vista empírico concreto, ya con las teorías filosóficas pitagóricas.

górica. Se lo halla en un apéndice del Libro X de los *Elementos* de Euclides, y ya Aristóteles lo menciona en los *Primeros Analíticos*.

Considérese el cuadrado de lado l y diagonal d.

Supongamos que l y d sean conmensurables, es decir, que exista una unidad de medida contenida un número exacto de veces en l y un número exacto de veces en



d. Utilizando unidades modernas de medida, supongamos que un centímetro esté contenido m veces en l y n veces en d. Dedúcese que un centímetro cuadrado estará contenido m^2 veces en el cuadrado construido sobre l y n^2 veces en el construido sobre d. Por tanto, aplicando el teorema de Pitágoras se deducirá

$$2\ m^2 = n^2 \qquad (1)$$

Podemos suponer que hemos suprimido en m y n sus factores comunes de manera que resulten primos entre sí, de donde se deducirá, en particular, que si uno es par el otro debe ser impar.

De (1) resulta que n^2 es par (por ser doble de m^2 y, por tanto, exactamente divisible por 2) y de ahí deberá serlo también n, por resultar imposible que el cuadrado de un número impar sea par. Luego n es par y, por tanto, m impar (por ser n par, m que es primo con n debe ser impar).

Pero decir que n es par significa que es exactamente divisible por 2. En fórmulas, llamando k a la mitad de n

$$n = 2\ k$$

de donde:

$$n^2 = 4\ k^2$$

Sustituyendo este valor en el segundo miembro [2] deducimos

$$2\ m^2 = 4\ k^2$$

es decir:

$$m^2 = 2\ k^2 \qquad (2)$$

Lo cual significa que m^2 es par y, por lo tanto, que también m es par. Pero esto es absurdo, pues hace poco habíamos concluido que m era impar.

Como no existe ningún número que al mismo tiempo sea par e impar, se deduce que la hipótesis de la cual se ha partido es errónea y que, por lo tanto, no puede existir ninguna unidad de medida, contenida un número exacto de veces en l y en d. El mismo raciocinio podía repetirse si, en lugar del centímetro, hubiéramos tomado una unidad de medida por pequeña que fuera.

En definitiva, estos dos segmentos son inconmensurables entre sí, hecho sorprendente también para nosotros, ¡y no digamos para la mentalidad de los pitagóricos [1]!

4. Conforme lo escribe Aristóteles en la *Metafísica*, "lo que originariamente impulsó a los hombres hacia las primeras investigaciones fue el asombro". Es indispensable advertir, por lo tanto, en qué sentido pudo actuar y desarrollarse aquel impulso inicial.

La simple comprobación de un hecho que causa asombro, inesperado por salir de lo común, no es de por sí suficiente para iniciar un proceso de investigación científica. Si el hombre se limita a contemplarlo con estupor, a expresar con palabras más o menos vivas la conmoción de su ánimo, no da el menor paso hacia la ciencia. A lo sumo podrá hacer poesía bella o fea (tanto da, pero nada más que poesía).

Para hacer ciencia es necesario no permanecer inmóviles ante el motivo del asombro; hay que pasar del estado puro de contemplación al de la acción. El acta de bautismo de la ciencia se vincula con tal acción, es decir, con la producción de los medios para sondear lo asombroso, analizándolo en sus elementos, componiéndolo con otros hechos, reproduciéndolo en circunstancias semejantes o distintas. La más moderna filosofía de la ciencia da a estos medios el nombre de técnicas, independientemente de que se obre con instrumentos empíricos o con instrumentos conceptuales.

Para tratar de explicar con ejemplos qué quería decir con la proposición citada a comienzos de este párrafo, Aristóteles afirma que uno de los hechos universalmente considerados más asombrosos fue, precisamente, el descu-

[1] Cuenta una leyenda que la existencia de magnitudes inconmensurables se mantuvo en secreto durante mucho tiempo en la escuela pitagórica. Un discípulo infiel, Hipaso de Metaponte, osó divulgarla: fue expulsado por el Maestro y tuvo que huir de la ciudad. Lo alcanzaron las iras de Júpiter, quien envió una gran tormenta que hundió la nave en que había embarcado el incauto.

brimiento de la inconmensurabilidad entre la diagonal y el lado del cuadrado (que hemos expuesto detalladamente en el § 3). Y es preciso reconocer que este ejemplo es perfectamente convincente, pues resulta indudable que las reflexiones sobre la inconmensurabilidad de los segmentos, es decir, sobre los números irracionales, figuran entre las más fecundas que registra la historia de la matemática. Pero el mismo Aristóteles añade que el asombro inicial desapareció muy pronto con las primeras investigaciones de los geómetras; tanto es así que fue sustituido por un asombro contrario, "ya que nada produciría más estupor a un geómetra que si la razón entre la diagonal y el lado del cuadrado fuera conmensurable."

Del mismo modo podemos encontrar en la iniciación de todas las investigaciones científicas alguna comprobación susceptible de causar asombro; el nacimiento de la ciencia consistió siempre en la eliminación de tal estupor, sustituyéndolo por un estupor contrario (es decir, haciendo comprender tan claramente la razón de los hechos estudiados que nos asombraría que las cosas se produjeran de otra manera). El pasaje de un asombro a otro es obra esencialmente humana, es el fruto de la tenaz reflexión de los científicos, es el resultado de sus "técnicas". Comprender, pues, qué es el "pensamiento científico" significa comprender el modo de proceder de estas técnicas, su creación, su desarrollo, el encabalgarse de una técnica sobre otra. Por lo tanto, nuestra investigación versará sobre las técnicas, y muy pronto ésta nos indicará cuán amplia ha sido la revolución que esas técnicas produjeron.

CAPÍTULO II

DIFICULTADES DEL LENGUAJE COMÚN Y FORMACIÓN DEL LENGUAJE GEOMÉTRICO

(Los sofistas - Euclides)

1. La primera técnica —y la más espontánea— a que acudieron los hombres para dominar la experiencia fue el lenguaje. Éste servía al individuo para comunicar sus propias observaciones personales a otros individuos. Con ello era posible comparar los hechos percibidos por personas distintas en el mismo instante o en instantes sucesivos, coordinar sus esfuerzos para corregir ciertas situaciones y provocar otras; en una palabra, salir del estado de asombro ingenuo y pasar al estado de coparticipación humana en el conocimiento.

Sin embargo, el lenguaje común no tardó en demostrar su propia ineficacia ante los fines que acaban de bosquejarse. Con frecuencia, el mismo conjunto de palabras se usaba con significados distintos; la expresión más espontánea debía abandonarse por ser incapaz de reflejar las innumerables complejidades, matices y tortuosidades de la experiencia; a veces, el desarrollo del raciocinio ponía de manifiesto gravísimas contradicciones, cuyo origen se ignoraba si residía en el hecho expresado o en el lenguaje empleado para expresarlo. Con esta crisis del lenguaje común se vincula una de las etapas más importantes en la formación del pensamiento científico considerado como actividad autónoma y consciente: fue, en efecto, esa crisis la que impulsó al hombre a intervenir decididamente en las estructuras lingüísticas hasta adueñarse, en cierto sentido, de ellas; lo cual posibilitó la construcción de sis-

temas dotados de una coherencia controlada, es decir, de sistemas racionales.

El descubrimiento de los defectos ínsitos en el lenguaje común indujo al hombre a no abandonar esta técnica preciosa para su evolución espontánea, sino a intervenir activamente en ella para indagar la raíz de los defectos hallados y posibilitar su eliminación. También aquí, lo mismo que ante las situaciones de "asombro" mencionadas en el capítulo primero, el factor determinante del progreso ha sido el abandono de toda actitud pasiva, remisa, fatalista.

Que el lenguaje común oculte en sí mismo algunas dificultades muy graves no constituye una circunstancia penosa, ante la cual el hombre sólo deba inclinarse deplorándolo más o menos profundamente; por el contrario, debe constituir una incitación al estudio de la logicidad intrínseca del lenguaje, a la captación de la estructura más íntima de su funcionamiento técnico; a la transformación y reelaboración para incrementar cada vez más su valor instrumental.

Esta profunda reflexión sobre el lenguaje fue una de las conquistas máximas del pensamiento griego durante el siglo v a. C. y, en particular, de las gloriosas escuelas sofísticas.

2. Aún hoy algunos autores consideran las discusiones de los sofistas como cabales enfermedades del pensamiento. Es éste un profundo error de interpretación que la historia moderna de la filosofía ha heredado de las antiguas polémicas antisofísticas de Platón y Aristóteles. En verdad, aquellas discusiones tuvieron enorme importancia y representaron una gran contribución al desarrollo de la ciencia.

Para adquirir familiaridad con la técnica lingüística había que acostumbrarse a manejarla con soltura, aun cuando tal manejo pudiese redundar en aspectos paradójicos. Nada más eficaz a tal propósito que utilizarla para demostrar, sobre el mismo argumento, tesis contradictorias entre sí. O bien: servirse del arte de la palabra para demoler los prejuicios más universalmente arraigados en la sociedad contemporánea, deducir extrañas consecuencias de las llamadas verdades intuitivas; evidenciar la invencible coherencia del escepticismo más exento de prejuicios.

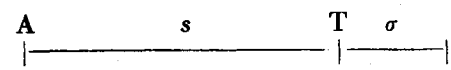
No se llega a ser dueño del idioma como instrumento de investigación científica si no se advierte la madeja de insidias que se ocultan frecuentemente en los conceptos más comunes; si no se adopta la costumbre de desentrañar todas las implicaciones lógicas que se deducen de las tesis aparentemente más simples.

El buen obrero moderno sabe que sólo hay un medio de conocer a fondo una máquina: el de aprender a desmontarla y montarla de nuevo con el objeto de descubrir las fallas y repararlas. Del mismo modo, el griego del siglo v *aprendió* a conocer la dificilísima máquina del idioma, descomponiendo y recomponiendo los raciocinios más singulares, construyendo las argumentaciones más sutiles y artificiosas, despedazando los conceptos tradicionalmente más sólidos y respetables.

Será oportuno ilustrar con algún ejemplo la habilidad lograda en este tipo de análisis por esos pensadores tan antiguos.

3. Por razones de comodidad nos referiremos a una de las conocidas antinomias que Zenón opuso al movimiento (sin ser un sofista, Zenón fue sin duda más hábil en sutilezas dialécticas que muchos sofistas, por ejemplo que Gorgias).

Sobre una recta se mueven en igual dirección —con movimiento continuo y uniforme— Aquiles y la tortuga; el primero con una velocidad cien veces mayor que la de la segunda. En el momento de partir, Aquiles sale con un retraso representado por la distancia s respecto de la tortuga a la cual debe perseguir.



Zenón observa que mientras el primero recorre el espacio s, la segunda recorrerá el espacio $\frac{s}{100}$. Mientras el primero recorre el

espacio $\frac{100}{s}$, la segunda recorrerá el nuevo espacio $\frac{s}{10.000}$, y así sucesivamente. Repitiendo este raciocinio n veces (por grande que sea n) la conclusión será que la tortuga siempre se adelanta a Aquiles en una fracción de s, aunque ésta sea, como es evidente, una fracción extremadamente pequeña.

La tradición, poco respetuosa de la cronología, cuenta que Diógenes, para refutar las sutiles antinomias de Zenón contra el movimiento, se limitó a pasear por su propia habitación, probando, empíricamente, que el movimiento existe y que, por lo tanto, es posible.

En verdad, esta respuesta era de todo punto insuficiente. Nadie dudaba que también Zenón conocía la existencia del movimiento como hecho empírico. Pero él no polemizaba contra el movimiento, sino contra el concepto de movimiento, es decir, contra el conjunto de implicaciones lógicas conexas con este término. Su polémica tenía su razón de ser: *a)* descubrir en dicho concepto la idea de la infinita divisibilidad del espacio y del tiempo; *b)* evidenciar la oposición entre esta divisibilidad infinita y los resultados más simples de la experiencia.

La dificultad puede traducirse fácilmente en términos algebraicos: llamemos x a la variable que expresa los distintos valores del camino recorrido por Aquiles; y la que expresa los distintos valores del camino recorrido por la tortuga; t al tiempo en función del cual varían x e y. Suponiendo que Aquiles alcance a la tortuga cuando ésta haya recorrido el espacio σ, ocurrirá que, en el mismo tiempo, x tomará todos los valores comprendidos entre O y $s + \sigma$, mientras que y toma todos los valores comprendidos entre O y σ. Pero a cada valor de x corresponde uno —y sólo uno— de los valores del tiempo t (puesto que el movimiento es uniforme) y a cada valor de t corresponde también uno —y sólo uno— de y. Luego, los valores de x son tantos como los valores de y, es decir, que el intervalo $s + \sigma$ se puede subdividir en tantos puntos como pueda subdividirse el intervalo σ. En otras palabras: los puntos, que constituyen la parte (σ), son tantos cuantos son los que constituyen el todo $(s + \sigma)$, y esto contradice el conocido principio de que la parte es menor que el todo.

El uso indiscriminado de los términos lingüísticos, en su acepción más grosera, oculta a la visión común las sutiles implicaciones contenidas en la palabra "movimiento". Es deber del científico descubrir estas implicaciones y las dificultades ínsitas en ellas. Para cumplir tal obligación ha de saber vincular, con rigor preciso, un término a otro, el que se pronuncia con los que se callan (en nuestro ejemplo, debe vincular el "movimiento continuo uniforme" a la "infinita divisibilidad" del espacio recorrido y del tiempo empleado en recorrerlo); y saber extraer de tal vinculación todas las consecuencias que ésta contiene, incluso las más extrañas [1].

Aunque Zenón no supo recoger con serena tranquilidad esta conclusión y aun cuando se limitó a evidenciar el profundo contraste entre ella y la intuición común, su obra no ha sido por ello menos benemérita. Bien comprendida, su enseñanza nos introduce en uno de los más complicados laberintos científicos, es decir, en la maraña de las innumerables nociones vinculadas con el término —en apariencia muy sencillo— de "movimiento".

Que el movimiento sea un dato empírico es indudable; así como es indudable que Aquiles alcanza a la tortuga; pero que la tentativa de traducir en conceptos este hecho sencillísimo choca con dificultades muy intrincadas es también una comprobación no menos indudable. Advertir esto significa captar uno de los puntos esenciales y más delicados del pensamiento científico; hacer oídos sordos ante tanta problemática significa que uno se queda en la superficie de las cuestiones, significa que se deja escapar una de las estructuras más características del idioma que empleamos.

4. Antes de iniciar la explicación de las

[1] En nuestro ejemplo: saber deducir que los puntos comprendidos en el segmento parcial σ recorrido por la tortuga son tantos cuantos sean los comprendidos en el segmento total $s + \sigma$ recorrido por Aquiles.

antinomias de Zenón, Bertrand Russel escribe con fina ironía: "En este mundo caprichoso, nada es más caprichoso que la fama póstuma. Una de las víctimas más notables de la falta de sentido de la posteridad es Zenón de Elea. A pesar de haber inventado cuatro argumentos todos extraordinariamente sutiles y profundos, la estupidez de los filósofos posteriores proclamó que Zenón no era sino un juglar ingenioso, y que sus argumentos no eran sino sofismas. Después de dos milenios de constantes refutaciones, estos sofismas fueron enunciados nuevamente y sentaron las bases de un renacimiento matemático [1] . . ."

Las palabras anteriores podrían repetirse, con justicia, para casi toda la sofística antigua, medieval y moderna. Limitándonos a la griega, es indudable que el significado de los argumentos de Protágoras, Gorgias, Pródico, fue muy distinto del que le atribuyó la historiografía tradicional.

Bastará un ejemplo para ilustrar la seriedad de los problemas discutidos por los sofistas. En el *Elogio de Helena*, Gorgias se propone una tesis paradójica: defensa de la hermosa y célebre heroína, considerada comúnmente como el prototipo de las esposas infieles y, por lo tanto, juzgada severamente. El punto más interesante de la argumentación del sofista es aquel en que se examina la hipótesis de que Helena se sintiera "persuadida", por las palabras de Paris, para abandonar el techo conyugal. "Si la palabra fue la que convenció y engañó la mente de Helena, ¿tenemos en verdad el derecho de condenarla?" No es difícil —según Gorgias— contestar negativamente. En efecto, ¿cómo pretender que ella conservara intacta su capacidad de elección ante un raciocinio convincente, en virtud de su construcción lógica? ¿Con qué derecho podemos condenarla, si lo que impulsó su espíritu para que obrase de una manera más que de otra fue un raciocinio que presentaba todas las características de la verdad? ¿Con qué derecho podemos pretender que una persona se sustraiga a la eficacia, más, a la "violencia" de la palabra?

Es evidente que, aquí, el legendario caso de Helena no interesaba en sí mismo; sólo constituye un hábil artificio para introducir el gravísimo problema de las responsabilidades morales de la ciencia. ¿Puede admitirse una disertación científica, una investigación racional que se desinteresen totalmente de las consecuencias ético-políticas que surgen de la propia disertación? ¿Cómo resolver los conflictos que surjan eventualmente entre los enunciados científicos y las convicciones morales? ¿Cuáles serán nuestras responsabilidades cuando el desarrollo coherente de los raciocinios nos arrastre más allá de las costumbres admitidas universalmente por la sociedad en que vivimos? ¿Hasta qué punto puede afirmarse la autonomía de la investigación científica ante lo que comúnmente se admite sin motivaciones científicas (es decir, la moral, la religión, etcétera)?

El problema que, con ropajes distintos, se presenta en todas las épocas debía ser tanto más sensible en el siglo v a. C., cuando la investigación científica apenas comenzaba a lograr sus primeros éxitos y ya afloraban conflictos muy graves entre la orientación iluminista de los primeros científicos y la tentativa conservadora de las autoridades político-religiosas. ¿Hasta qué punto debería concederse libertad al pensamiento científico, cuando éste —analizando con despiadado espíritu crítico todos los supuestos del lenguaje ordinario— tratara de disgregar las opiniones más sagradas? ¿Hasta qué punto, cuando tratara de envolver en la crisis de su escepticismo no sólo conceptos puramente físicos, como los de "movimiento", de "mensurabilidad", sino también delicados conceptos políticos, morales, religiosos?

La dialéctica de Gorgias, Protágoras, etcé-

[1] Se vio, en efecto, que la base última de la matemática está constituida por los conjuntos infinitos; y estos conjuntos se caracterizan precisamente por la propiedad muy singular, surgida de las argumentaciones zenonianas, de que la parte y el todo —aun distintos entre sí— pueden estar formados por la misma cantidad de elementos.

tera, se dirigió de manera muy especial a este campo de nociones "más humanas", más capaces de interesar a los numerosos grupos de jóvenes que trataban de aprender en la enseñanza de los sofistas el camino del éxito político; pero históricamente sería erróneo limitar su eficacia a ese campo. En verdad constituyó la cabal preparación a los estudios de lógica y de matemática que florecieron en los siglos siguientes.

5. Algunos sofismas como los del "montón", del "cornudo", del "barbero", etcétera, no suelen considerarse dignos de mención en los textos de historia de la filosofía y de la ciencia. Sin embargo desempeñaron también su papel, y nada despreciable, en la formación del pensamiento científico.

El núcleo del primero de esos sofismas consiste en la observación siguiente: un grano no forma un montón, dos granos no forman un montón, y tampoco lo forman tres, cuatro, cinco granos, etcétera; sin embargo, un montón está formado por muchos granos. Aquí es evidente que la antinomia depende del significado impreciso de los términos "muchos" y "montón". Su aspecto, más grosero que las antinomias de Zenón sobre el movimiento, reside exclusivamente en el hecho de que, mientras pocos advierten las dificultades lógicas contenidas en el concepto de movimiento (no resultando claro a primera vista cómo este término implica el concepto de infinito), todos o casi todos captan inmediatamente la imprecisión de los términos "muchos" y "montón".

También el segundo es de fácil solución: ya no tienes lo que has perdido; por tanto, tienes lo que no has perdido. Y como no has perdido los cuernos, eres, por lo tanto, cornudo. Este sofisma tiende a poner de manifiesto la imposibilidad de convertir el enunciado negativo "ya no tienes lo que has perdido" en el enunciado positivo "tienes lo que no has perdido" y, por ende, a poner en claro las dificultades lógicas conexas con la operación de la negación.

El tercer sofisma parte del concepto de barbero como, "el que afeita y sólo afeita a todos los habitantes del país que no se afeitan por sí mismos" (admitiendo, por supuesto, que en el país no exista sino un barbero). Sabido es que, definidos así los términos, la pregunta: "¿Quién afeitará al barbero?" carece de respuesta posible. En efecto: no puede decirse que el barbero se afeite a sí mismo, pues sólo afeita a "quienes no se afeitan por sí mismos". Ahora bien, este sofisma, de apariencia tan artificiosa, apunta a un objeto muy importante: ponernos en guardia contra el acoplamiento bastante peligroso del pronombre "todos" y el adverbio "sólo", que el lenguaje común acostumbra a usar sin la menor precaución crítica. Parece curioso, pero es innegable que las discusiones más modernas acerca de los fundamentos de la matemática debieron detenerse frente a dificultades semejantes. Como lo veremos, la solución no fue nada simple.

El valor lógico de estos llamados a las dificultades que se ocultan en un término lingüístico en otro es hoy unánimemente reconocido por los epistemólogos contemporáneos. Por lo demás, no sería difícil mostrar su importancia también desde un punto de vista histórico. Por ejemplo, toda la teoría aristotélica de la deducción deriva, ella también, de la necesidad de evitar equívocos y confusiones muy difundidos en el argumentar del lenguaje común.

Obsérvense los dos ejemplos siguientes:

a) Pedro es mi padre; tu hermano es mi padre; luego, Pedro es tu hermano.

b) Sócrates es hombre; Aristóteles es hombre; luego Sócrates es Aristóteles.

Quien se limite a examinar la forma que ambas argumentaciones poseen en el lenguaje ordinario, difícilmente dejará de ver su intima analogía. Sin embargo, el simple sentido común nos dice que una es admisible y la otra, no. ¿Dónde radica la diferencia?

Quien tenga alguna familiaridad con la teoría de las clases [1] puede contestar inmedia-

[1] Para una definición intuitiva del concepto de clase (o conjunto o agregado) ver cap. IX, 3, segundo párrafo.

tamente: la diferencia reside en el hecho de que la clase "padre" posee un solo elemento, mientras que la clase "hombre" posee más de uno. Pero sería un error creer que la teoría de las clases resulte intuitiva para todas las inteligencias, ¡o que el lenguaje común sea perfectamente idóneo para expresar con exactitud todos los conceptos y las relaciones de tal teoría!

Todos los hombres hacen uso muy frecuente de argumentaciones en la vida diaria para confundir al adversario, desenmascarar al culpable, convencer al dudoso. Pero, ¿poseen todas las argumentaciones igual valor? Y si no lo poseen, ¿logra proporcionarnos el lenguaje común los medios eficaces para distinguir las argumentaciones válidas de las que no lo son? ¿Puede esta distinción (entre proposiciones válidas y no válidas) poseer sentido absoluto, es decir, independiente del idioma en que se expresan?

Ningún otro pueblo sintió como los griegos de los siglos v y iv la necesidad de aclarar la naturaleza de la demostración. Los oradores, los políticos, los filósofos, en una palabra, los hombres más eminentes de su época pretendían demostrar continuamente esta o aquella tesis, refutando otras; ¿cómo no preguntarse, entonces, cuál era el recurso más idóneo para el objeto que se proponían? El *Organon* de Aristóteles no nació por casualidad o por una genial intuición del gran estagirita. Nació en un ambiente en que desde años atrás se discutía, a veces con exasperación, acerca de coherencia e incoherencia, de deducibilidad y de no deducibilidad, de axiomas y sofismas; fue preparado por estas discusiones; mas aún, constituyó su culminación.

6. Sin embargo, el *Organon* aristotélico no constituye, por lo menos a mi entender, la consecuencia más importante —para la historia del pensamiento científico— de las innumerables discusiones lógico-lingüísticas sostenidas por distintas generaciones de sofistas que vivieron en la Grecia antigua. El fruto de mayor significación de sus discusiones fue el reconocimiento de los defectos estructurales que vician el lenguaje común y la consiguiente búsqueda de lenguajes diversos, más precisos, más controlados, en una palabra, más idóneos para la investigación científica.

Grecia supo descubrir un lenguaje muy adecuado para la matemática; no supo hacer lo propio para la física y demás ciencias naturales.

Sobre las causas del fracaso sustancial en las investigaciones físico-naturales llevadas a cabo en el mundo clásico volveremos en otro capítulo, cuando tratemos de explicar la nueva senda por la cual el mundo moderno logró hacer lo que los griegos no hicieron, es decir, construir una técnica precisa, válida para las ciencias de la naturaleza. Aquí bastará con que nos detengamos en los grandes méritos adquiridos por Grecia en el campo de la matemática.

Es conocida, en este campo de la investigación científica, la importancia decisiva de la gran obra de Euclides, los *Elementos*. Pero ha de observarse que muy pocos fueron, con toda probabilidad, los resultados nuevos que contenía esta obra. La historiografía moderna dice, por ejemplo, que los dos primeros libros reúnen conceptos y teoremas ya conocidos por la antigua escuela pitagórica. Igualmente, el Libro V expone las investigaciones ya realizadas por Eudoxo acerca de las proporciones, etcétera. Hubo hasta quien avanzó la hipótesis de que el orden mismo de los 13 libros de los *Elementos* (es decir el orden de los argumentos que tratan) seguía muy fielmente el orden cronológico en que fueron tratados paso a paso por los matemáticos griegos que vivieron entre el siglo de Pitágoras y el de Euclides.

Cualquiera que sea la conclusión al respecto, de ninguna manera resultará disminuida la importancia de los *Elementos*. En efecto: ésta no depende del descubrimiento —por parte de Euclides— de propiedades desconocidas con anterioridad, sino de la forma que él supo dar al tratamiento geométrico.

En los *Elementos* hallamos catalogados por primera vez, con rigor casi perfecto, los conceptos primitivos de la geometría, así como los

axiomas y postulados que valen para ellos; cualquiera otra proposición estará incluida en la medida que logre deducirse de esos principios según reglas bastante claras, aunque no enunciadas explícitamente por el autor (reglas que, de todas maneras, resultan sin duda conexas con la sistematización aristotélica de la lógica). En este grandioso edificio de conceptos y proposiciones adquiere finalmente sentido preciso la afirmación de resultar demostrado un teorema, de ser un problema resoluble, de ser un enunciado contradictorio.

Aquí cada término tiene su significado exactamente circunscrito, y no existen posibilidades de equívocos. Aquí toda proposición es llevada, por un camino más o menos largo, pero lógicamente indiscutible, a los principios de la teoría; y resulta o no admitida según concuerde o no con ellos. Estos principios —sobre los cuales no cabe discutir— constituyen los únicos criterios de verdad para todas las demás proposiciones; y la deductibilidad lógica de ellos constituye el único método admitido en la demostración.

Los *Elementos* de Euclides proporcionan el primer ejemplo de una técnica expositiva rigurosa, sin duda no desprovista de vínculos con el lenguaje común, pero, de todos modos, irreducible a él. El significado de cada término llega a adquirir dentro de esa técnica, conforme a la definición rigurosa que ella proporciona, resulta, en efecto, análogo, lo más posible, al significado ordinariamente vinculado con el término en cuestión en el lenguaje común; pero mientras este último es, con frecuencia, vago, nebuloso, con grandes zonas de incertidumbre, aquél es en cambio preciso y bien determinado, en virtud de la definición rigurosa. Los términos irreductiblemente equívocos del lenguaje común no se presentan —en general— en el lenguaje geométrico; y si por excepción los vemos empleados en alguna proposición primitiva de la teoría, Euclides se esfuerza por no establecer la menor referencia a ellos en el desarrollo de las demostraciones.

Revisando con máxima escrupulosidad los *Elementos* de Euclides, los críticos modernos lograron descubrir algunas fallas que sin duda afectan, aunque escasamente, al valor lógico de alguna demostración. Sin embargo no disminuyen el valor metodológico general de la obra: ésta fue, y es, la primera tentativa lograda para construir un lenguaje científico riguroso, y como tal señala una de las etapas fundamentales en la historia del pensamiento científico. Demuestra que, finalmente, el hombre había llegado, en el siglo III a. C., a tener plena conciencia del valor del lenguaje como instrumento indispensable de la investigación científica; y, sobre todo, demuestra que, reconocidos los defectos de una expresión meramente espontánea (que, según vimos, provoca muchas contradicciones), él supo comprender la necesidad de un lenguaje controlado, riguroso, racionalmente elaborado. Al convertirse en artífice de las propias técnicas de investigación, el pensamiento científico entra en una fase de plena madurez.

CAPÍTULO III

LA TENTACIÓN METAFÍSICA
(Platón)

1. Al advertir que el lenguaje ordinario y el conjunto de nociones vinculado con él estaban colmados de imperfecciones, el hombre se encontró ante dos posibilidades: o considerar el idioma ordinario como un instrumento imperfecto, pero perfectible, y tratar entonces de corregirlo, de extraer de él otros idiomas menos defectuosos, y de construir —sin apartarse de la relatividad y provisionalidad propias de toda búsqueda humana— medios de expresión más adecuados a los distintos campos de las nociones tomadas en consideración, o bien intentar un nuevo camino, destinado a conducir al hombre fuera de sus propios límites, de la propia relatividad, es decir, intentar un camino que, elevándose por encima de los inconvenientes del lenguaje humano, permita (o pretenda hacerlo) captar verdades absolutas, indiscutibles, eternas.

Si un obrero moderno, montando y desmontando una máquina que maneja diariamente, acierta a descubrir en ella algunas fallas, muy graves inclusive, no siente la ocurrencia —ni por un instante— de buscar algo que posea una potencia infinitamente superior a todas las máquinas, sino que se esfuerza por perfeccionar la que tiene entre manos, es decir, por construir otra que no sea la "máquina perfecta", pero sí una máquina mejor que la vieja y, también como ésta, perfectible. Esta actitud tan espontánea del obrero resultó, en verdad, una de las conquistas más difíciles del pensamiento científico. La tentación de lograr un saber absoluto, cualitativamente distinto del común (es decir, de otra naturaleza: ya no relativa, provisional, perfectible), era demasiado grande para no dejarse engañar: el primer fruto resonante de este engaño fue la metafísica platónica.

2. Como sabemos, el núcleo central de esta metafísica está constituido por la teoría de las ideas. Frente al fluir de los fenómenos, y a la relatividad de las nociones que se refieren al mundo fenoménico así como al carácter convencional de los nombres empleados para designar estos fenómenos, Platón trata de erigir una ciencia filosófica (la dialéctica), que capte directamente el ser puro e inmutable, más allá de los fenómenos. Los supuestos de esta ciencia son, pues, dos: 1) que existan entes subyacentes a los fenómenos que constituyan la verdadera realidad del mundo (entes cuyos caracteres sean antitéticos a los caracteres de los fenómenos: lo absoluto frente a la relatividad; la inmovilidad frente al fluir, etcétera); 2) que el medio para llegar a estos entes no sea la técnica lingüística, sino algo distinto (en efecto, la técnica lingüística, por su misma formación, se adapta a captar lo relativo y no lo absoluto; aun sustituyendo unos nombres por otros no podríamos modificar los defectos constitucionales del lenguaje).

"...¿No te parece que cada cosa posea también una esencia, así como tiene un color y las demás propiedades que acabamos de mencionar? Y el propio color y la voz, ¿no tienen cada uno su propia esencia?... Y entonces, si existe discordia entre los nombres, y si unos afirman que éstos son los nombres semejantes a la verdad y, otros, que son aquéllos, ¿con qué medio podremos decidir o a qué acudiremos? No acudiendo segura-

mente a otros nombres distintos de aquéllos... Y es claro que deberemos buscar otras cosas, fuera de los nombres, que nos muestren sin ayuda de los nombres, cuáles de estos nombres son los verdaderos, y nos indiquen claramente la verdad de las cosas... Los entes deben aprehenderse no por sus nombres, sino por sí mismos... Debemos considerar entonces si aquellos que pusieron efectivamente los nombres los pusieron con la convicción de que las cosas se mueven y fluyen —y a mí también me parece que tenían esa convicción—; sin embargo puede ocurrir que no sea así (es decir, que las cosas no fluyan)." (Del diálogo *Cratilo* de Platón.)

3. En época muy posterior a Platón, otros investigadores iniciarán, ellos también, una crítica muy enérgica a la eficiencia de la técnica lingüística; también ellos dirán, como Platón, que el científico debe dirigirse directamente al ser, no a la palabra. Pero, al afirmarlo, se propondrán —en forma muy distinta de Platón —sustituir la ciencia lógico-lingüística por la ciencia experimental, es decir, el ser que ellos afirman será el ser experimental, fenoménico, sensible, no el ser absoluto. Criticarán la técnica lingüística por su excesivo alejamiento del fluir de los fenómenos, no por acercarse demasiado a él. En cambio, Platón, como vimos, quiere hallar el camino para alcanzar el ser en sí, irreducible, según él, al ser particular y fluyente de los fenómenos.

No quiero ahora detenerme aquí sobre las dificultades intrínsecas de semejante concepción del ser; bastará subrayar sus consecuencias sobre la manera de entender el proceso cognoscitivo. En la concepción platónica este proceso no puede ya vincularse con nuestra acción, por cuanto es obvio que la acción se dirige —por su propia índole— a lo que de alguna manera puede sufrirla (es decir, a lo que puede modificarse, transformarse, descomponerse); en cambio, el conocimiento debe fundarse en el contacto directo entre nosotros y el ser absoluto. La técnica del conocimiento posee una función puramente negativa, preparatoria, es decir, tiene la misión de eliminar las acciones perturbadoras y permitir al alma recogerse en sí misma. Encerrada el alma en sí misma, no podrá dejar de hallar las huellas que el ser ha impreso en ellas. El único acto cognoscitivo, el verdadero, es exclusivamente el de contemplar el ser; dejar que el ser se nos revele en su integridad y pureza.

No es difícil advertir las consecuencias que pueden extraerse de esta actitud: todo el saber vinculado con la observación empírica, con lo opinable, con lo provisional, todo el saber que lleva consigo algo de insatisfactorio y de perfectible jamás podrá ser un saber verdadero. Las nociones del hombre común, la sabiduría de los sofistas, las mismas verdades matemáticas, no constituyen ciencia verdadera en el sentido riguroso del término. Ésta debe buscarse en otra cosa, respecto de la cual las "ciencias inferiores" pueden, a lo sumo, constituir una preparación.

Admitir, en principio, una jerarquía en el saber humano con la distinción entre una ciencia superior por naturaleza (Platón la llamaba *dialéctica*) y otras inferiores, también por naturaleza, equivale a reducir estas últimas al rango de no-ciencias, o de simples doncellas de la primera. En otras palabras: equivale a disminuir el interés del hombre por estas últimas y apartarlo de su estudio.

"Nadie seguramente se opondrá si decimos que no existe otra disciplina que trate de alcanzar sistemáticamente el conocimiento de lo particular tal cual es que la dialéctica. Sólo la dialéctica, eliminando los postulados, llega al principio mismo con el objeto de fundarlo sólidamente..." (Del Libro VII de *La República* de Platón).

Se comprende fácilmente cómo una actitud semejante haya sido acogida con gran entusiasmo por los místicos de todas las religiones. En efecto: sustituyendo el acto de fe por lo que Platón llamaba "dialéctica", se sintieron autorizados por el gran filósofo de Atenas para sostener la superioridad absoluta del conocimiento del ser sobre todos los conocimientos de carácter mundano y, por tanto, para predicar la renuncia de estos últimos con el fin de concentrarse totalmente en el primero. Identificaron el ser absoluto de Platón con Dios.

4. En rigor de verdad, hay que reconocer, sin embargo, que las últimas conclusiones que acaban de mencionarse van más allá de la doctrina platónica. En efecto: Platón jamás llegó a una desvalorización total de las disciplinas "menores", más: buscó siempre el modo de "salvarlas", aunque sólo fuera como preparación a la ciencia del ser. Todo su pensamiento oscila entre esos dos polos opuestos: la admisión de un único saber absoluto y, también, el reconocimiento de pleno valor a los saberes parciales y relativos. En realidad, el interés de su posición no sólo depende del hecho de no haberse desligado jamás del segundo polo, sino de haber tratado por todos los medios de conciliarlo con el primero. Este esfuerzo resulta particularmente visible en sus últimas obras, que en cierto sentido constituyen una autocrítica de su pensamiento anterior.

No deseamos ahondar más el difícil debate acerca de si debe concederse mayor peso a la última o a la primera fase de la especulación platónica. Aquí sólo nos interesa una cosa: aclarar los motivos que podían inducir al pensamiento griego a abandonar las ciencias "inferiores" por una pretendida ciencia "superior", absoluta, y subrayar los graves peligros encerrados en esta posición.

Por otra parte, el origen de esta actitud es mucho más antiguo que Platón; es posible encontrarla en Parménides y, en ciertos aspectos, también en la escuela pitagórica. La influencia de esta actitud sobre todo el pensamiento científico griego fue tan profunda que, según algunos historiadores modernos, habría que buscar en ella la característica principal de la ciencia griega frente a la moderna. Mientras ésta se muestra totalmente resuelta a desvincularse del problema filosófico del ser general para dirigirse, exclusivamente, al estudio de los seres particulares y variables, la ciencia griega no sería comprensible —según dichos historiadores— si se la privase de sus relaciones con la metafísica, única ciencia que los griegos reconocían como poseedora de valor absoluto, capaz de trasmitir algún valor (aun relativo) a las ciencias inferiores.

No comparto del todo esta interpretación del pensamiento griego, la *récéme* que descuida todo un filón —fundamental— de la especulación helénica. Si bien es cierto que, por influencia de Parménides y de Platón, la ciencia griega se impregnó indudablemente de metafísica, tratando de hallar en esta última su propia justificación (sea porque toda ciencia "inferior" sólo valdría como preparación a la metafísica, sea porque sólo la metafísica podría explicar los fundamentos-postulados, etc. de las demás ciencias), no es, empero, menos cierto que, bajo la influencia de la tradición sofística, el pensamiento científico griego comprendió, mejor que cualquier otro pensamiento de la antigüedad, el valor de las técnicas particulares y asimismo la necesidad de tornarlas cada vez más rigurosas y eficientes.

Para comprender en su indecisión el significado de la ciencia griega hay que tener presentes las dos instancias que acaban de mencionarse. Deteniéndose en una de ellas se corre el riesgo de esquematizar demasiado y, con la esquematización excesiva, perder por consecuencia de vista la complejidad del problema histórico real.

5. Lo expresado puede confirmarse con la obra matemática de Euclides. Si, por una parte, es indiscutible que aparecen en él (como traté de demostrarlo en el último párrafo del cap. II) algunos desarrollos interesantes de la crítica sofística, pues Euclides ha elaborado realmente un nuevo lenguaje, muy controlado y eficiente, para el campo particular de las nociones geométricas, no es menos cierto, sin embargo, que en esta nueva lengua pueden hallarse muchas notas de origen platónico.

Para Platón, la matemática, lo mismo que las demás ciencias "inferiores", tampoco capta el ser auténtico asible tan sólo por la dialéctica. Con todo, goza de posición privilegiada, pues, entre todas las ciencias inferiores, resulta la más próxima a la dialéctica, la que más se acerca al conocimiento de las ideas, siempre —claro está— que se estudie "para conocer y no para comerciar".

Tanto la aritmética como la geometría pueden estudiarse con espíritu científico puro. "Es, por tanto, oportuno... convencer a quienes se han de ocupar de los asuntos más importantes del Estado que se dediquen a la ciencia del cálculo, pero no a la manera común, sino de tal modo que su inteligencia pueda contemplar la naturaleza de los números. ... Esta ciencia eleva el alma y le obliga a razonar acerca de los números considerados en sí mismos, y se niega a razonar si otros acuden a los números asociados con cuerpos visibles o tangibles." Aun cargada ocasionalmente con "una terminología mísera y ridícula ..., como si se tratara de práctica y de finalidad práctica", también la geometría puede cultivarse "para el conocimiento de lo que siempre es, y no para lo que nace y perece", y, por tanto, "podría servir de árgana para levantar el alma hacia la verdad, y podría convertir el raciocinio en filosófico para mantener hacia arriba lo que ahora mantenemos indebidamente hacia abajo" (del Libro VII de *La República*, id.).

Es indudable que esta exigencia de pureza influyó profundamente sobre Euclides y sobre la matemática griega tradicional. En efecto, ha sido aquella exigencia, sobre todo, la que eliminó de la geometría el uso de la intuición y de las construcciones prácticas, remplazándolo por un nuevo tipo de concatenación conceptual quizá pesado y laborioso, pero sin duda rigurosamente preciso, hasta en sus pasajes mínimos. "Platón —escribe Proclo en el «Resumen histórico» citado en el cap. I— dio un enorme empuje a la geometría con el gran amor que demostró por ella, como lo atestiguan suficientemente sus escritos, repletos de consideraciones matemáticas que en todo momento despiertan el entusiasmo por estas ciencias en todos aquellos que se dedican a la filosofía." Según Zeuthen, hasta la misma investigación euclídea de los postulados iniciales (sobre los cuales se funda todo el edificio geométrico) deriva de Platón. Para Wilamowitz toda la obra del gran geómetra alejandrino fue concebida bajo la influencia del filósofo ateniense. "Los *Elementos* de Euclides —escribe— derivan de la escuela de Platón." Otros llegan a considerar a Euclides como un discípulo-sobrino de Platón. Atilio Frajese, que es uno de los más autorizados estudiosos actuales de la matemática griega, expresa la misma convicción con estas claras preguntas: "¿Quién no ve (en Platón) la causa de ese escrúpulo por el cual Euclides jamás habla de regla ni de compás, y sólo postula las construcciones a las cuales lleva su uso? Y en la neta separación que Platón establece entre geometría pura (que ilumina) y geometría métrica (que ensombrece) ¿quién no ve la causa de la absoluta ausencia de toda regla de medida en Euclides?" (*La matematica del mondo greco*, Roma, 1951, p. 74).

6. La contraposición, hace poco mencionada, entre geometría pura y geometría práctica indujo a Platón a admitir como estudio científico sólo el de las figuras que podían construirse con rectas y circunferencias, excluyendo en cambio el estudio de las "curvas mecánicas" (es decir, en términos modernos, las curvas que no pueden trazarse con regla y compás, como, por ejemplo, las cónicas, la cuadratriz de Hipias, la concoide de Nicomedes, etc.). En efecto: según él, acudir a los recursos mecánicos oscurecería "la belleza de la geometría... rebajándola al estado práctico, en lugar de elevarla y conferirle como objetivo las figuras eternas e incorpóreas".

Fue una suerte, para el progreso de los estudios geométricos, que los grandes matemáticos griegos no se hayan sentido demasiado obligados por aquel veto platónico, aunque no puede negarse que representó, para ellos, un inconveniente serio en algunas cuestiones importantes (por ejemplo, ante los célebres problemas de la cuadratura del círculo, de la duplicación del cubo, etc.). Sin duda, quien aceptara la condena platónica de las curvas mecánicas tendría que dejar de reconocer como geométricos gran parte de los estudios de la geometría moderna, cuyo valor científico, sin embargo, no puede hoy discutirse. Es que nuestro concepto de ciencia resulta infinitamente más amplio que el platónico; y es que para el estudioso moderno toda limitación *a priori* del campo de las investigaciones científicas parecería una pretensión absolutamente gratuita, dogmática.

Si, por las consideraciones anteriores, la influencia de Platón sobre el desarrollo de la geometría griega no puede considerarse totalmente positiva, mucho menos podrá juzgarse positiva su influencia sobre las demás ciencias. En efecto, ninguna de ellas se hallaba en condiciones de poseer, desde su nacimiento, todos los caracteres de pureza que Platón exigía a los conocimientos científicos. A ninguna de ella les era posible, apenas superados los límites de vagas generalidades, adquirir una autonomía absoluta respecto de las actividades prácticas; el esfuerzo para mantener tal autonomía fue una ilusión fatal que duró milenios y constituyó uno de los principales obstáculos opuestos al surgimiento del espíritu científico moderno.

La lucha contra el platonismo resultó laboriosa a la humanidad, y aún hoy surgen a menudo, en especial en el acercamiento de la matemática, concepciones claramente inspiradas en él. La valorización de la experiencia, la teoría a la práctica, el reconocimiento de la relatividad de los conocimientos científicos, serán los puntos de partida para el derrocamiento de la tradición platónica.

CAPÍTULO IV

POR QUÉ LOS GRIEGOS NO TUVIERON UNA CIENCIA FÍSICA

1. Es sabido que si buscáramos en los más antiguos pensadores griegos una ciencia física, en el sentido moderno del vocablo, en modo alguno lograríamos hallarla. No es que no se interesaron por los grandes problemas físicos (el problema de la materia, por ejemplo, dominó en todos los desarrollos del pensamiento helénico), pero, en la mayor parte de los casos, los trataron en términos filosóficos generales, poco rigurosos desde el punto de vista estructural. Así, la obra de Aristóteles intitulada *Física* se ocupa de los principios de la existencia, de la materia y de la forma, del movimiento, del espacio, de las esferas celestes, del primer motor inmóvil; en una palabra, es una obra de filosofía pero no de ciencia. La verdad es que así como los griegos lograron para las nociones matemáticas —según vimos— un lenguaje técnico especial que permitió el desarrollo de largas cadenas de argumentos regidos por leyes lógicas claramente establecidas, y así fue posible formular exactamente con tal lenguaje ciertos conceptos a veces muy elevados, axiomas, teoremas, problemas y discusiones acerca de las condiciones de validez de los primeros y de resolubilidad de los últimos, nada de eso ocurrió con las nociones físicas, que fueron quedando como argumentos de discusión interesante para la filosofía de la naturaleza, sin que jamás alcanzaran verdadero y cabal nivel científico.

Tomemos, por ejemplo, la noción de fuerza. No cabe duda que constituyó uno de los ejes fundamentales de los sistemas filosóficos de Empédocles, Anaxágoras, Demócrito. En efecto: en estos sistemas aparecen diversas referencias a fuerzas de atracción, repulsión, centrífugas, etcétera. Más: en Demócrito se halla una intuición muy genial —aunque apenas esbozada— del principio de inercia, que pudo abrir a la dinámica la senda que dos milenios después recorrerían Leonardo da Vinci y Galileo Galilei. Pero el tránsito a una formulación científica del concepto de fuerza no

aparece o, para ser más exactos, sólo se presenta dentro de los límites de las fuerzas en equilibrio y, por lo tanto, logra constituir apenas, el fundamento de algunas investigaciones exactas de estática (por obra de Arquímedes y de Herón). Las teorías aristotélicas del movimiento continúan mezclando nociones físicas e ideas metafísicas —así trata de explicar, por ejemplo, los conceptos de "gravedad" y "levedad", refiriéndolos a incontrolables "apetencias" de los cuerpos hacia su lugar natural— y no llega a proponerse siquiera la investigación de un método preciso de demostración de las leyes enunciadas. Las teorías del ímtu, de Hiparco y, luego, de Juan Filopono, también se mantienen en lo genérico y no permiten ningún progreso real en el estudio del movimiento de los proyectiles. En una palabra: no se logra ninguna ventaja clara sobre las explicaciones propias del sentido común, formuladas en el impreciso lenguaje de la vida diaria y, por lo tanto, no se da ese primer paso muy delicado que puede significar el punto de partida para la iniciación y el desarrollo del pensamiento científico.

2. Las consideraciones anteriores no se aplican idénticamente a todos los capítulos de la ciencia natural. En óptica, por ejemplo, los griegos realizaron algunos progresos de valor indiscutible. Se trata, sobre todo, del capítulo llamado Óptica geométrica, que alcanzó un nivel científico casi moderno.

Aquí reaparece el nombre de Euclides, ya tantas veces citado (aunque subsisten algunas dudas acerca de si se trata, efectivamente, del autor de los *Elementos* o de un homónimo), a quien se deben obras de importancia fundamental, como la *Óptica* y la *Catóptrica*. Se desarrollan en forma deductiva, con el enunciado de un sistema preciso de postulados y con la intención de deducir de él, en rigurosa forma lógica, las leyes de los fenómenos luminosos. Conforme escribe Vasco Ronchi (en su *Storia della luce*, Bolonia, 1952), "a Euclides cabe el mérito de haber creado el modelo geométrico de la luz, el *rayo* luminoso rectilíneo, sin estructura física, que sirvió para construir la óptica *geométrica*, la misma óptica geométrica actual. Además, en su obra se encuentran los fundamentos de la perspectiva, las leyes de la reflexión y de la formación de las imágenes en los espejos planos y esféricos. Se encuentran también en ella, aunque desordenadas, desvinculadas y a veces también mal interpretadas, numerosas observaciones de óptica física, fisiológica y psicológica. Creemos que todo esto es suficiente para colocar el nombre de Euclides entre los de los más grandes cultores de la óptica".

Tras la estela de Euclides siguieron otros investigadores ilustres: Hiparco, Claudio Ptolomeo, Damiano Heliodoro de Larisa, etcétera, logrando progresos notables. Claro que el material experimental se mantuvo, aun en sus trabajos, con bastante escasez, a menudo confundidos todavía los factores geométricos con los más propiamente físicos, fisiológicos, psicológicos; asimismo, la heterogeneidad de las nociones, del lenguaje y de las conclusiones impidió un examen serio y fecundo de los distintos problemas. Pero, con todo, se había dado el primer paso —paso indispensable—, "pues precisamente en virtud del estudio de este primer material experimental y racional —agrega Ronchi— los sucesores deducirán el orden, la clasificación, la conformación, la especialización, la teoría".

3. También en el campo de la acústica la contribución de los griegos fue relevante. Este capítulo de la física nace de las primeras observaciones experimentales de los pitagóricos y de la inserción de los resultados observados en teorías aritméticas fáciles pero precisas. Escribe Enriques [1]: "Boecio narra cómo asomó por primera vez en la mente de Pitágoras la relación entre sonidos y números. El raciocinio físico que aquél deduce de las fuentes señaladas se desarrolla con orden y claridad, pero se funda sobre un error que hubiera sido fácil corregir. No es cierto que el sonido producido por los martillos de un herrero se halle

[1] F. ENRIQUES y G DE SANTILLANA, *Storia del pensiero scientifico*, Bolonia, Zanichelli, 1932, p. 479.

en relación simple con su peso. Es más verosímil que las investigaciones de Pitágoras tuvieran en cambio por objeto una cuerda vibrante, cuya longitud podía hacerse variar mediante un puente corredizo; así se encuentra que a la octava corresponde una razón de longitudes 1:2, a la quinta 2:3, etcétera. Las leyes pitagóricas de la armonía expresan precisamente estas razones de manera exacta."

Aristóteles, prosiguiendo las investigaciones de los pitagóricos, explicará la trasmisión del sonido como un movimiento del aire que se propaga del objeto sonoro hasta nuestros oídos; algo después se descubrirá también que la luz se propaga más rápidamente que el sonido. En la colección de los *problemata* de la escuela aristotélica se discuten distintas cuestiones de ese tipo, de gran interés no sólo histórico sino también teórico.

4. Sobre la medicina y sobre la astronomía de los griegos no podemos detenernos cuanto sería necesario.

Sin duda, el interés por estas dos disciplinas nació en todos los pueblos con el primer desarrollo de la reflexión. En efecto; en ambos casos (aunque en materia de astronomía pueda parecer absurdo) el interés fue sugerido por la relación inmediata que el hombre percibía entre su propia persona y el objeto de que tratan estas disciplinas. En un caso estaban en juego las alternativas de la vida humana en sí misma (nacimiento, desarrollo, enfermedad, muerte); en el otro, los cambios de la naturaleza en contacto más inmediato con el hombre (la sucesión de las estaciones, la alternación del día con la noche, las fases de la Luna). Era obvio que la noción del tiempo constituía el fundamento de un grupo de fenómenos tanto como del otro, aunque asumiera características profundamente distintas. O sea: era evidente, aun para las mentes más primitivas, que en cuanto al objeto de la medicina (es decir la vida humana), el andar del tiempo se reflejaba en algo irreversible: el envejecimiento de las personas y su marcha progresiva hacia la muerte; mientras que, en cuanto a los objetos de la astronomía, se traducía en cambios periódicos, repetidos con regularidad constante. ¿Era posible establecer una relación entre estas dos manifestaciones del tiempo? ¿Era posible introducir también la vida humana en una concepción cíclica del universo?

Son conocidas las tentativas de los pitagóricos para responder positivamente a esta pregunta mediante la concepción del año cósmico: después del año grande todo volverá a comenzar, "así también yo volveré a hablar, con este bastoncito en la mano, y ustedes estarán sentados como ahora; y todas las demás cosas se comportarán igualmente" (de la *Física* de Simplicio).

Sin embargo, la realidad de los fenómenos, con sus irreductibles diferencias estructurales, debía acabar por imponerse. La ciencia del movimiento cíclico de los astros y la ciencia del curso irreversible de la vida animal debían asumir fatalmente en cada caso características propias.

La primera se convirtió en una ciencia preferentemente matemática, en la cual las fórmulas matemáticas constituían, desde luego, el instrumento más idóneo para expresar la periodicidad de los fenómenos astrales; la segunda asumió un aspecto más de técnica que de ciencia, resultando obvia la imposibilidad de aplicarle el rigor de las deducciones aritméticas y geométricas.

La astronomía, estudiada preferentemente en sus comienzos como *Genetlialogia* (es decir, como búsqueda del destino de cada hombre sobre la base de la determinación del punto del zodíaco que aparecía por el oriente en el instante de su nacimiento), se convierte, por aplicación de la matemática al cálculo de la velocidad de los fenómenos celestes (en particular al cálculo de las diferencias de velocidad aparente entre los distintos signos del zodíaco), en una ciencia cada vez más exacta. Se distinguen los distintos tipos de estrellas, se calculan las órbitas de los planetas; se trata de medir las dimensiones del Sol, de la Tierra, etcétera; se trata de predecir los eclipses; se crean hipótesis más o menos artificiosas para explicar los movimientos de los astros, sea res-

pecto de la Tierra, sea de unos respecto de los otros; se precisan dificultades; se plantean y se resuelven problemas, se acentúa el carácter deductivo de las teorías.

En medicina, por el contrario, a medida que se aleja de las primitivas prácticas mágicas, se acentúa el carácter empírico-descriptivo. La escuela de Cos, en la cual prevalece el culto de la observación, entabla una polémica cada vez más enérgica contra la escuela de Cnido, de tendencia racionalista. Le reprocha que sea excesivamente teórica y segura de sí misma, "que acuda a lo frío contra lo caliente, a lo caliente contra lo frío, a lo húmedo contra lo seco, a lo seco contra lo húmedo", mientras que la experiencia enseña que nada existe que sea puramente frío, caliente, seco o húmedo. A las hipótesis generales sobre la vida opone la práctica del clínico, su paciencia en seguir al enfermo, su precisión para captar diferencias, aun las mínimas, entre un caso y otro, su habilidad en facilitar a toda costa la *vis medicatrix naturae*. "No hay ningún derecho —escribe Hipócrates— en fundar el arte médico sobre una hipótesis. Sin duda, es el camino más cómodo. Todo se simplifica admitiendo una sola causa fundamental de la enfermedad o de la muerte —la misma para todos— y representando esa causa mediante un factor, o dos, sean éstos lo caliente y lo frío, o lo húmedo y lo seco, u otra cosa cualquiera. Pero por medio de tal arte se dio a la postre con el principio, así como con el método en virtud del cual se realizaron en poco tiempo muchos descubrimientos hermosos. Y también se descubrirá el resto si el investigador experto y conocedor de lo ya hecho inicia con ello nuevas investigaciones. Por ello debemos profundizar nuestros conocimientos, de manera que los errores nos aparten muy poco, en un sentido o en otro, del camino recto; y el médico que sólo cometa errores leves será elogiado. Pero es difícil poseer la certeza absoluta... Creo que es muy largo aún el camino por recorrer antes de alcanzar una ciencia que pueda decirnos, hasta en sus menores detalles, qué es el hombre y para qué ha venido al mundo."

El método de la observación empírica, de la cuidadosa descripción de los hechos, de la colección del mayor número posible de informaciones, pasará de la medicina a la fisiología y, en general, a la biología, y permitirá la conquista de resultados notables, aunque no todavía científicos en el sentido moderno de este vocablo. En este campo de investigaciones son dignas de recordarse las contribuciones de Aristóteles y de su escuela, sobre todo en cuanto se refiere a la clasificación de los animales y de las plantas, a los diversos tipos de reproducción, etcétera.

5. Nada es más útil, para comprender los límites de la ciencia griega, que la comparación entre los distintos desarrollos de la astronomía y de la medicina. La primera, según observamos, desarrolla su propio carácter científico, compenetrándose cada vez más con la matemática, incrementando su propia parte teórica, formulando de manera cada vez más general las hipótesis de las cuales trata de deducir todos los fenómenos. La segunda, en cambio, se ve obligada a reconocer con claridad cada vez mayor la inutilidad de las hipótesis generales, de las consideraciones abstractas y de toda proposición que pretenda explicar con una sola fórmula el variado y complejo proceso de la vida humana.

Una y otra carecen de la capacidad de fundir la teoría con la experiencia, de unificar ciencia y técnica.

El único modelo de lenguaje científico sigue siendo siempre el modelo matemático, y no se comprende la posibilidad de un tipo de demostración que no se reduzca a la deducción lógica de principios generales. Más aún: se termina perdiendo de vista el carácter humano de la matemática (es decir, su carácter de producción nuestra, siempre modificable según las exigencias con arreglo a las cuales fue elaborada); en una palabra: la matemática, y, por tanto la ciencia, se convierte en algo absoluto.

Y resulta entonces que ciertos conocimientos como los de la medicina, donde ese carácter absoluto es inaplicable, se conciben como

simples colecciones de datos empíricos, como conocimientos carentes de una racionalidad efectiva.

Muchos perjuicios surgieron de esta contraposición entre conocimiento científico (concebido siempre como verdadero en su generalidad y abstracción) y conocimiento técnico (o arte) concebido en cambio como dotado de una insuperable limitación y relatividad. Podemos decir que ambos se cerraron en sí mismos, el primero sustrayéndose al control vivo de las experiencias concretas y, por tanto, perdiendo la conciencia de su propio carácter instrumental; el segundo, dispersándose en miles de observaciones desprovistas de carácter sistemático y, por lo tanto, eliminando toda posibilidad seria de cumplir progresos verdaderos y bien fundados.

¿Tiene sentido preguntarnos la causa del sustancial fracaso de los griegos en las ciencias de la naturaleza? En su *Storia della Scienza*, ya citada, Enriques afirma que esta pregunta, en verdad, está mal planteada, pues, a su entender, no se trata de un fracaso objetivo, sino aparente, provocado sobre todo por nuestro erróneo punto de vista, que busca entre los griegos una ciencia física, química, biológica en un sentido demasiado moderno del vocablo. Aun reconociendo el valor de esta última observación de Enriques, considero, sin embargo, que comete un error al desconocer el sentido del problema planteado. En efecto: existe —y muy evidente —un contraste neto entre los enormes éxitos logrados por los griegos en la matemática y los indiscutibles límites de los progresos que alcanzaron en las ciencias no reducidas a una forma matemática más o menos clara (excluyendo, por supuesto, la medicina, que los griegos concibieron como simple arte, no como conocimiento científico), pero, ¿por qué deberíamos renunciar a establecer el origen profundo de esta diferencia? Sin duda sería erróneo buscarla —como algunos pretenden —en explicaciones vagas y equívocas, acudiendo a una pretendida "inferioridad congénita del espíritu griego" o a una deficiencia de inteligencia técnica. Tiene sentido, en cambio, buscar el origen de esa diferencia en un hecho fácil de comprobar en la historia de la metodología científica, es decir, en el hecho de que los griegos lograron descubrir, a través de sus largos y sutiles análisis del lenguaje, la estructura de la demostración lógico-deductiva, y pudieron desarrollar con éxito, por ende, la ciencia matemática fundada precisamente sobre el método deductivo), mientras que no lograron —en virtud de su desprecio por el trabajo manual— descubrir el método de las demostraciones experimentales (y, por lo tanto, no pudieron obtener éxitos igualmente notables en las ciencias naturales). En otras palabras: los estudiosos griegos no supieron construir ninguna técnica demostrativa seria de la deducción lógica, exceptuada la abstracta, y, por lo tanto, tuvieron que detenerse, impotentes, ante aquellos problemas que exigían tratamiento con técnicas distintas.

Sólo el pensamiento científico moderno ha comprendido la posibilidad de manejar, asimismo, con rigor las nociones extraídas de la experiencia, y, por ende, extender la racionalidad humana también a grupos de problemas que van más allá del campo de las teorías abstractas; solo él, por consiguiente, pudo fundar una ciencia de la naturaleza capaz de desarrollo serio y continuado, y fecunda en verdaderos resultados inequívocos.

Reflexionar sobre esta inferioridad histórica de los investigadores griegos, sobre el motivo metodológico de su jaque frente a los problemas físicos, puede resultar extremadamente útil para permitirnos penetrar en el sentido profundo de lo que llamamos el "pensamiento científico".

6. Una tentativa para superar la oposición de principio —que acaba de expresarse— entre matemática y experiencia existió en verdad también entre los griegos, pero no en el período áureo, sino varios siglos después. Se centra en la obra de Herón, que vivió, según algunos, en el siglo I a. C. y, según otros, en el I ó II d. C.

En sus *Definiciones*, este genial estudioso analizó y criticó valientemente las más anti-

guas y respetables definiciones de los entes geométricos, tratando de sustituirlas por otras, inspiradas en criterios experimentales. Podemos decir, en términos modernos, que trató de sustituir las construcciones de los clásicos, que estaban inspiradas principalmente en un espíritu lógico-estético, por una geometría esencialmente operativa. No podemos detenernos en detalles acerca de su obra, ni discutir el difícil problema histórico de su originalidad (es verdad que un planteo semejante puede encontrarse ya en Arquímedes, pero éste, sin embargo, se limitó a cultivarlo *junto* al planteo clásico como dos formas paralelas de geometría, sin intención de sustituir la una por la otra). Baste recordar que Herón investiga áreas y volúmenes no sólo de figuras exactamente definibles mediante recursos matemáticos, sino también de superficies y cuerpos dados por la experiencia; y que siempre muestra la necesidad de ilustrar los teoremas de equivalencia con ejemplos numéricos, en los cuales emplea, hábilmente, valores calculados por aproximación.

La mentalidad de Herón no fue tanto la del matemático cuanto la del ingeniero. Como lo explica muy bien Enriques, "dirigió la escuela mecánica de Alejandría —el primer politécnico en sentido moderno—, y sabemos que los primeros cursos se dedicaban a las ciencias teóricas (geometría, aritmética, física, astronomía), mientras que sólo después de ellos se pasaba a las ejercitaciones prácticas (trabajo de los metales, teoría de las máquinas, arquitectura, etc). Su obra, que quiere ser una enciclopedia de las matemáticas aplicadas . . . , refleja ese orden . . . Herón conocía la propiedad de las palancas, de los engranajes y de las máquinas que se componían con ellos; la hidrostática y las más variadas aplicaciones del sifón; había construido aparatos fundados en la dilatación del gas, del tipo del termoscopio, y en la fuerza de expansión del vapor de agua . . . Tenía, pues, al alcance de la mano todos los elementos para construir una máquina de vapor industrial, un telar mecánico o cualquiera de los aparatos que transformaron la industria a fines del siglo XVIII". Dampier, en su *Historia de la ciencia,* llega a sostener inclusive que el mecanismo de vapor inventado por Herón, "en el cual el retroceso del vapor que sale por un caño se utiliza para hacer girar alrededor de un eje un brazo que lleva el propio caño, puede considerarse como un lejanísimo predecesor de los aviones de reacción". ¿Por qué, pues —nos preguntamos— este valiente estudioso —que sus contemporáneos apodaron *mecánico*—, no logró aplicar sus geniales mecanismos a una construcción productiva, utilitaria, que habría logrado sacudir las barreras de la antigua cultura, demasiado abstracta, y dar nacimiento a nuevos intereses prácticos y teóricos? ¿Por qué no tuvo la capacidad de iniciar esa nueva senda del pensamiento científico que en realidad solamente encontraremos en la época moderna?

La ingeniería de Herón no se convirtió en instrumento activo de progreso para la humanidad porque las condiciones económico-políticas de su tiempo no lo permitían. Dirigió su habilidad técnica no a la inserción valerosa de la ciencia en la vida, sino a la invención de curiosos y complicados dispositivos que divertían a los refinados y decadentes señores de su tiempo. "La técnica alejandrina —siempre es Enriques quien habla— se dirigía casi toda a los juegos y a las diversiones, cada vez más rebuscados y costosos, en un ambiente donde los parásitos adinerados buscaban un lenitivo para el tedio vital. No había rastros de ese voluntarismo que vislumbramos en los primeros presentimientos confusos del monje Roger Bacon, en las geniales visiones de Leonardo, en las creaciones revolucionarias de algunos pobres y oscuros artesanos de Escocia y de Inglaterra."

Las condiciones sociales de la antigüedad impidieron que la ciencia griega helenística lograse los grandes desarrollos para los cuales poseía, sin embargo, los supuestos teóricos necesarios. Es que el pensamiento científico no constituye una actividad privada de unos pocos espíritus selectos, aislados del resto del

mundo, sino que es un fenómeno colectivo, íntimamente vinculado al destino general de la humanidad. El avance y retroceso de uno y el avance y retroceso del otro son inseparables. La decadencia general de la sociedad romana, que data de los primeros siglos de nuestra era, no podía sino arrastrar la decadencia de la ciencia. Ésta sólo resurgirá después, cuando la estructura social también evidencie nuevos fermentos de renacimiento. El vínculo históricamente efectivo entre la sociedad y la ciencia refleja el nexo profundo, indisoluble, entre el pensamiento y la acción, entre la teoría y la práctica.

CAPÍTULO V

FIDELIDAD AL PASADO Y EXIGENCIA INNOVADORA

1. Con la decadencia general de la sociedad europeo-mediterránea, desde el punto de vista económico, político, etcétera, también la cultura de Occidente sufrió una crisis larga y muy grave que duró algo menos de un milenio. Los científicos y los filósofos limitaron su tarea a estudiar y trasmitir los resultados logrados por las generaciones anteriores, sin esforzarse por aportar alguna idea nueva, algún desarrollo original. Además, esta misma pasividad repercutió negativamente sobre la eficacia misma de la conservación del viejo patrimonio cultural: comenzó a perderse el interés por las demostraciones demasiado particularizadas, por las discusiones demasiado complicadas, por los desarrollos demasiado extensos; se terminó, a la postre, por reducir todo el saber a resúmenes cada vez más breves, que en lugar de ser fáciles de aprender resultaban de lectura cada vez más incomprensible. En efecto, es imposible aferrar el sentido preciso de una construcción racional si nos limitamos a su enunciado, sin comprender los argumentos sobre los cuales se funda ese enunciado, los cuales constituyen precisamente su racionalidad. En este sentido, la crítica metodológica más moderna sostiene que el significado de un teorema matemático o de una ley física estriba principalmente, en el conjunto de las demostraciones respectivas.

En un estudio esquemático como el presente quedaría fuera de lugar la exposición de las distintas etapas de la decadencia que hemos mencionado; fue tan profunda, sin duda, que logró sumergir poco a poco casi toda la herencia científica del pasado. Como ejemplo sólo recordemos la incomprensión de las más elementales nociones geométricas que demuestra Gerberto de Aurillac (Papa desde 999 hasta 1003, con el nombre de Silvestre II). Examinando el conocido teorema según el cual "el ángulo exterior de un triángulo es mayor que cada uno de los ángulos interiores no adyacentes", afirmaba que no comprendía por qué Euclides había creído necesario ofrecer una demostración. En efecto: Gerberto pensaba que las palabras "ángulo exterior" significaban "ángulo obtuso", y las palabras "ángulo interior", "ángulo agudo", de modo que el teorema, según esto, se reducía a repetir la propiedad evidente de ser el ángulo obtuso mayor que el ángulo agudo. ¡Y, sin embargo, Gerberto era, sin duda, uno de los hombres más cultos de su tiempo!

Tras un temporario y limitado retorno a los estudios en el siglo IX, en la corte de Carlo-

magno y de sus sucesores, fue sólo en los siglos XI y XII cuando las condiciones generales de la sociedad permitieron —o, mejor, favorecieron— un renacimiento sólido y duradero de los intereses culturales. Como es natural, este renacimiento se dirigió ante todo a recuperar el antiguo patrimonio perdido.

Es fácil comprender, ante tal situación, el tipo de desarrollo que, a partir del siglo XI, caracterizó durante mucho tiempo a la cultura occidental. Se trata de un desarrollo que actúa sobre dos líneas fundamentales: una, como dijimos, constituida por el estudio dirigido a la recuperación de la gran herencia de la ciencia clásica; la otra —que no podía faltar en una fase de efectiva reconquista cultural—, constituida por un conjunto más o menos sistemático de investigaciones, con pretensiones de auténtica originalidad. A veces prevalece el interés por lo antiguo, a veces por lo nuevo, y con su fusión —no siempre carente de contrastes— se elabora y fortifica el maravilloso conjunto de nociones y problemas que constituye el pensamiento moderno.

2. Prevengo que resultaría un profundo error histórico identificar, en general, la fidelidad a la ciencia clásica con una actitud de exclusiva pasividad cultural. Aun en los casos en que tal estudio partiese de la hipótesis de que en los textos antiguos estaba despositada casi toda la verdad y que, por lo mismo, había que buscarla antes en ellos que en el libre ejercicio de la razón y de la observación, fueron necesarios, con frecuencia, mucha energía, mucho espíritu de iniciativa, mucha agudeza de ingenio, para interpretar el sentido profundo de los textos estudiados, así como para desarrollar y aplicar las verdades que contenían. Y, sobre todo, es preciso no olvidar que la reabsorción del pensamiento científico de los antiguos constituyó con frecuencia, tanto en la Edad Media como en épocas posteriores, una magnífica ejercitación de rigor, seriedad y conciencia crítica.

Después de la profunda crisis cultural y general aludida en el parágrafo anterior, el renaciente interés por los clásicos greco-latinos y el llamado a su indiscutible autoridad, ofrecieron a los estudiosos de la época el recurso más seguro para refirmar los derechos de la razón contra la fe. Las encarnizadas polémicas entre los llamados "platónicos" de la escuela de Chartres y el místico San Bernardo, en el siglo XII, ofrecen, desde este punto de vista, uno de los más gloriosos y significativos episodios de la larga lucha que se libró en favor del renacimiento del pensamiento científico, en nombre del retorno más fiel a los textos clásicos.

Para un espíritu moderno, los términos de la polémica pueden parecer ingenuos y desprovistos de consistencia. San Bernardo acusaba a los maestros de Chartres de "describir la creación del mundo por un camino filosófico o hasta por un camino físico"; éstos se defendían sosteniendo el derecho de acudir también a Platón cuando éste exponía algo que no se hallase en la Biblia. "Nada nos asegura —decían— que todo el saber se encuentre en la Biblia, y que, por lo tanto, todo lo que no esté escrito en ella deba resultar necesariamente contrario a la revelación y, por ello, erróneo." Si en otras épocas la referencia a Platón pudo tener un significado conservador, ¡en esta polémica, evidentemente, tenía clara función revolucionaria!

3. El estudio de lo que habían enseñado los clásicos —en lógica, matemática, física, etc.— fue durante varios siglos el programa fundamental de las escuelas más avanzadas. Se hurgaba en las bibliotecas de los conventos más antiguos, se hacían viajes de estudio a los países de habla árabe y a las ciudades del imperio bizantino, se cuidaban las traducciones (del árabe y del griego) de un número cada vez mayor de obras filosóficas y científicas de la antigüedad. El redescubrimiento de tantos tesoros aumentaba cada vez más la autoridad de los clásicos y proporcionaba armas siempre nuevas contra todos aquellos que denigraban el poder de la razón.

El triunfo de la cultura antigua fue completo. Terminó por convencer a los mejores espíritus que todo estaba contenido en los

textos clásicos y que la máxima aspiración del filósofo, como la del científico, sólo podía ser la de aprender cuanto ellos habían enseñado. "Estimo dignos de admiración a los hombres del tiempo antiguo —escribía el autor de una anónima *Practica Geometriae* de fines del siglo XII—. Aprendieron perfectamente muchas cosas maravillosas y casi increíbles con la guía de la razón, mediante la agudeza de la mente. Éste es, pues, el motivo por el cual no puedo igualarlos en el estudio, pero sería torpe si desdeñáramos imitarlos."

Imitar a los antiguos, ¡he ahí la tarea más específica del hombre culto! Alcanzar el nivel científico de la antigüedad, ¡he ahí el ideal que parecía inalcanzable!

Sin embargo debe observarse que alguno de los estudiosos medievales más serios no dejó de trasformar —desde fines del siglo XII— el programa de imitación que acaba de explicarse en un programa de superación, si bien extremadamente respetuoso. Y podemos leer así, en las enseñanzas de un maestro de Chartres, afirmaciones como las siguientes: "Somos como enanos trepados en las espaldas de gigantes; y de ahí que podamos ver más cosas que ellos y más lejos, no porque nuestra vista sea más penetrante que la de ellos, sino porque somos trasportados por ellos y nos hallamos a mayor altura merced a su talla de gigantes."

El pasaje que acabamos de referir denuncia el problema de fondo que se ocultaba en el gran proceso del retorno al pasado: ¿era posible conciliar la imitación de los antiguos con el descubrimiento de algo nuevo? Si los estudiosos más inteligentes trataron de conciliar ambas exigencias, el peligro de la repetición pasiva era, empero, extremadamente grave.

Evidentemente un programa dirigido con preferencia hacia la búsqueda de lo ya expuesto en libros ajenos se presta —diría hasta por su misma naturaleza— a que su realización corra también por cuenta de espíritus mediocres pero capaces de un trabajo intenso y tenaz. La tendencia de estos espíritus mediocres será, pues, la de trasformarse en imitadores puntuales, temerosos de cualquier innovación. En ellos la recuperación del pasado acabará por convertirse en una función negativa; será más una rémora antes que una incitación a la investigación auténtica.

Y fueron precisamente esos ingenios mediocres quienes presentaron la ciencia clásica como un dogma intangible y, por ende, como cosa muerta, incapaz de nuevos desarrollos. Por su culpa, el estudio del pensamiento científico de los antiguos pudo aparecer, en algunas circunstancias, como un obstáculo que debía combatirse con máxima energía.

4. Me parece interesante observar que durante todo el largo y laborioso proceso del renacimiento de la cultura occidental se advierten, en los más diversos campos del saber, fermentos de rebelión contra el excesivo peso atribuido a la cultura clásica. Un observador superficial podría confundirlos a veces con las direcciones —a las que ya nos referimos— que se oponían a la cultura clásica en nombre de la tradición mística. En verdad, se trataba sin embargo de una lucha completamente distinta.

Los fermentos de que estamos hablando no se oponen a la cultura clásica por demasiado audaz e innovadora frente a la tradición mística, sino —por el contrario— la combaten precisamente por demasiado conservadora. Denuncian, en una palabra, una atrevida rebelión contra el peligro de pasividad encerrado en el estudio del pasado, es decir, contra la imitación pura, la repetición, la apelación a la autoridad ajena.

Esta actitud, muy justificable cuando se dirigía contra los espíritus mediocres ya mencionados al final del § 3, asumió empero, a veces aspectos perjudiciales, transformándose en una revuelta indiscriminada contra todo aquello que aparecía en el patrimonio científico trasmitido por la antigüedad.

Para ilustrar los caracteres positivos y negativos de esta revuelta (que no se limitó por supuesto a la Edad Media, sino que reapareció en casi todas las épocas más agitadas) nos proponemos estudiarla en dos situaciones culturales muy diferentes entre sí: en el siglo XII

y en el XVII. Los desarrollos diversos a que dio lugar servirán para comprender mejor el espíritu del conflicto entre la fidelidad al pasado y la exigencia renovadora.

Los tratados generalmente más leídos de historia de la filosofía y de la ciencia no hablan, o hablan muy poco, de las direcciones hiperdialécticas (dirección cornificiana, escuela de Melun, Adan de Petit-Pont y sus discípulos, etcétera) que en el siglo XII combatieron la escuela platónica de Chartres, no en nombre de un retorno a la tradición mística sino en nombre de una mayor originalidad en la investigación. Los pocos historiadores que las mencionan, las presentan como direcciones toscamente anticulturales, como una especie de "enfermedad del pensamiento". Yo las considero extremadamente sintomáticas, porque demuestran, justamente, que la carga de la herencia clásica fue advertida desde comienzos del renacimiento cultural de Occidente. Junto con ella se advirtió la necesidad de buscar nuevas sendas, autónomas, libres, más allá de toda barrera representada ya por la fe religiosa, ya por la pasiva aceptación de la cultura clásica.

Si las expresiones de devoción hacia los antiguos (como las mencionadas anteriormente) surgían de espíritus firmemente convencidos de la imposibilidad de separar el renacimiento de la cultura de la imitación del pensamiento clásico, las expresiones de rebelión de la corriente innovadora de que estamos hablando no fueron, en modo alguno, menos vigorosas o menos entusiastas. Lamentablemente nos han llegado pocas noticias respecto de esta corriente, y todas ellas indirectas (en su mayor parte a través de los adversarios); sin embargo bastan para atestiguar la gran energía del movimiento: "He ahí que todo resultaba renovado: se renovaba la gramática, cambiaba la dialéctica, se despreciaba la retórica; abandonadas las normas de los antiguos, se ofrecían nuevos rumbos a todo el cuadrivio." Si alguien trataba de enaltecer la ciencia del pasado ante estos innovadores, ellos respondían con acritud: "¿Qué pretende este borrico viejo? ¿A santo de qué eso de contarnos los dichos y hechos de los antiguos? Nos hacemos sabios con nuestras propias fuerzas; nuestra juventud se instruye por sí misma; nuestro grupo no admite los dogmas de los antiguos."

Uno de los espíritus más cultos del siglo, Juan de Salisbury, obispo de Chartres, firmemente convencido del valor de la tradición clásica, siente tal aversión por la arrogancia de estos innovadores, por la excesiva agilidad de sus argumentaciones, que se niega incluso a trasmitirnos sus nombres. Se limita a señalarlos genéricamente con el nombre clasicista de cornificianos (por Cornificio, el gramático antiguo que denigró a Virgilio y que se recuerda en la vida de éste, atribuida a Donato). Pero dedica a la polémica contra aquéllos tan extensa parte de su obra que llega a convertirse involuntariamente en el mejor testimonio de la importancia de aquel movimiento. Justamente de él deducimos que la dirección cornificiana representó —con su ambicioso programa de ampliación de la indagación filosófica de las palabras a las cosas y de renovación radical de la lógica— uno de los obstáculos más serios a la identificación del renacimiento de la ciencia con la absorción pasiva del pensamiento de los antiguos, y una de las tentativas más enérgicas para desvincular la investigación racional de toda esclavitud para con el pasado.

Probablemente era demasiado temprano para que pudiese triunfar un intento de rebeldía tan abiertamente opuesto al pasado. En efecto: aún era inmenso el patrimonio científico-filosófico tradicional que podía hacerse revivir, y los descubrimientos de nuevos textos (sobre todo de Aristóteles) debían convencer a los estudiosos del siglo XII que el programa de los cornificianos era simplemente una locura. Por lo tanto, los "conservadores" triunfaron en su contienda con los "innovadores", y durante mucho tiempo el término "cornificiano" se utilizó como atributo despectivo. Hoy, en cambio, estamos en condiciones de reconocer el sentido y el valor de aquella rebelión y

de ver en ella una de las tentativas más valientes, aunque ingenuas, del pensamiento humano para afirmar la imposibilidad de separar la investigación racional del espíritu de originalidad absoluta.

5. Muy distinto ha sido el éxito que correspondió al segundo de los movimientos innovadores que nos propusimos mencionar, movimiento que a principios del siglo XVII coligó a gran parte de los mejores matemáticos italianos, alemanes, franceses, en una lucha —bastante áspera y tampoco carente de equívocos— en contra de la gran tradición de Arquímedes.

Durante el siglo XVI el pensamiento científico europeo había asimilado las obras más importantes del ilustre siracusano: comenzaron a publicarse traducciones de trabajos ya conocidos en la tardía Edad Media, poco a poco se agregaron otras, mientras se rehacían las primeras en forma más correcta y más fiel al texto griego. Baste recordar la edición cuidada por Tartaglia (*Opera Archimedis Syracusani philosophi et mathematici ingeniosissimi, per Nic. Tartaleum Brixianum,* Venecia, 1543) y la muy célebre de Commandino, (*Archimedis opera nonnulla a Fed. Commandino nuper in latinum conversa et commentariis illustrata,* Venecia, 1558). En aquel renacimiento del interés por Arquímedes, las obras que suscitaron mayor admiración fueron las referentes al cálculo de las áreas y volúmenes. En efecto: en ellas —a través de argumentaciones a veces laboriosas, pero siempre impecables, lógicamente— se demostraban resultados tan novedosos que asombraban aun a los espíritus más sutiles y más deseosos de los éxitos continuos de la ciencia.

Pero, poco a poco, un punto fue demostrando su propia oscuridad: el método con que Arquímedes había logrado intuir los resultados de las cuadraturas más difíciles e idear la demostración de esos resultados. Si, como dije, los razonamientos expuestos en las obras del gran siracusano eran indudablemente impecables, el hilo conductor de sus argumentaciones se mantenía, sin embargo, en la oscuridad. En general, sus argumentaciones se desarrollaban indirectamente, es decir, por el absurdo; y, por tanto, como todas las demostraciones indirectas, ocultaban el núcleo central de su validez. Mientras era un verdadero goce espiritual seguir la lectura de sus teoremas, resultaba algo difícil desarrollarlos más allá del punto que él había alcanzado, y afrontar con el mismo método nuevos problemas.

De ahí que los ingenios mejores se encaminaron hacia la búsqueda de nuevas sendas: de admiradores de Arquímedes se convirtieron en sostenedores enérgicos de la necesidad de abandonarlo, de modo que, con el tiempo, se formó un verdadero "partido antiarquimedeano".

La tendencia que frecuentemente se designa con este nombre reunió a los estudiosos que fueron después los más célebres (Kepler, Cavalieri, Torricelli, etcétera), mientras que sus adversarios —los muy fieles a Arquímedes— fueron el padre jesuita Guldin y, en general, los espíritus más conservadores. Para comprender el espíritu de la polémica son significativos los títulos de algunos libros; por ejemplo, *Supplementum ad Archimedem* de Kepler, al cual se contrapone la obra *Vindiciae Archimedis* de Alejandro Anderson.

El interés filosófico de esta oposición es evidente: por un lado aparece la defensa del conservadorismo científico (que acude a la mejor tradición de la matemática clásica); por el otro, el espíritu innovador, dispuesto a renunciar a la herencia metodológica del más grande de los matemáticos de la antigüedad con tal de hallar el recurso para afrontar nuevos problemas y resolverlos.

Por supuesto, la seriedad científica de la tendencia antiarquimedeana, que acaba de recordarse, fue muy distinta de la de los cornificianos; sin embargo, ambas tendencias tienen algo en común. En efecto, también los antiarquimedeanos encarnan en cierto modo un retroceso respecto de los fieles a Arquímedes: el método intuitivo que ellos contraponen al llamado método de exhaución de los

arquimedeanos [1], se fundaba en verdad más sobre la intuición que sobre el raciocinio e implicaba graves renuncias en lo que atañe al rigor. Los procedimientos que de él nacían tenían un aspecto más ligero, más rápido, pero a menudo no impedían el error: se justificaba también para ellos la acusación que siglos antes se había dirigido a los cornificianos: constituir una "gaya ciencia" más que una ciencia rigurosa.

Lo cierto es, empero, que los muy serios secuaces de Arquímedes practicaban el método de exhaución sólo para repetir demostraciones ya conocidas, y que éste no se revelaba como adecuado para resolver problemas radicalmente nuevos. Aunque la "gaya ciencia" que le contraponían los innovadores conducía a veces a conclusiones erróneas y, por lo tanto, a abrigar la ilusión de haber resuelto aquello que no lo estaba (y que, por ende, podía ofrecer el flanco a la acusación de falta de seriedad), aumentaba sin embargo la fe de la mente humana en sí misma, impulsaba al matemático hacia nuevos problemas y fortalecía en él la energía de la búsqueda.

Por todo ello, la actitud científica de los antiarquimedeanos, —no obstante sus defectos lógicos— manifestaba algo de más positivo que la actitud de sus adversarios, embarazados por su adhesión excesiva a la herencia lógica del pasado. Su audacia se convirtió en uno de los elementos propulsores más eficaces de la investigación; su misma (relativa) ligereza científica se transformó en un factor muy eficaz de progreso.

El ambiente científico —preparado por los estudios pacientes de las generaciones anteriores— estaba maduro para recibir aquel impulso, y en verdad supo proporcionar, con la nueva sacudida, los frutos más maravillosos. La excesiva fe dispensada a los nuevos métodos (menos rigurosos) constituye indudablemente un error lógico, pero fue un error feliz, dada la fecundidad que reveló. Condenarlo simplemente por su deficiencia de rigor significaría no tomar en consideración el carácter concreto del pensamiento.

6. Los dos impulsos contrarios de conservación e innovación están presentes en todas las épocas de gran desarrollo del pensamiento científico. Representan dos exigencias fundamentales de este pensamiento, que por una parte ha de saber cómo atesorar la herencia de las épocas precedentes (asimilando los métodos y los resultados) y, por la otra, debe sentir el impulso de la investigación, no limitándose jamás a la pura y estéril repetición.

Ni el uno ni el otro pueden eliminarse, y ninguna ciencia podría adquirir madurez cabal si no supiese satisfacer a ambos. Es claro, además, que el impulso a la conservación constituye la garantía de la seriedad demostrativa —conforme lo hemos comprobado en los dos ejemplos citados—, mientras que el impulso a la renovación constituye la garantía de la vitalidad de la investigación. Aun en su oposición dialéctica son tan necesarios el uno al otro que si el impulso renovador llegara a faltar durante mucho tiempo la inercia y la esterilidad que sobrevendrían con tal motivo

[1] Para dar una idea de este método, muy complicado, nos limitaremos a exponer cómo se aplicaba para demostrar el teorema según el cual entre las áreas de dos círculos existe la misma proporción que entre los cuadrados de sus radios. Tal aplicación comprendía dos partes:

Primera parte: considérese en primer lugar la serie de polígonos regulares de 4, 8, 16, 32 . . . lados inscritos en un círculo cualquiera; será fácil demostrar que la diferencia entre el área del círculo y el área de cada uno de estos polígonos es menor que la mitad de la diferencia entre el área del círculo y la del polígono precedente (por ejemplo, la diferencia entre el círculo y el octógono inscrito es menor que la mitad de la diferencia entre el círculo y el cuadrado inscrito). Se deduce que la diferencia entre el área del círculo y la del n-ésimo polígono de la serie se va "agotando" poco a poco es decir, se hace tan pequeña como uno quiera al crecer n.

Segunda parte: plantéese ahora por el absurdo la hipótesis de que dos círculos C_1 y C_2 no estén entre sí en razón igual a la de los cuadrados de sus radios R_1 y R_2 respectivos. Utilizando la propiedad anterior (respecto del *agotarse* —de ahí, exhaución— de la diferencia entre el área del círculo y el área de los polígonos inscritos de 4, 8, 16, 32 . . . lados) se demuestra que tal hipótesis implica contradicciones insalvables. Por lo tanto, la hipótesis es falsa y el teorema es verdadero.

acabarían por reflejarse en forma muy grave en la misma posibilidad de conservar el patrimonio del pasado. La historia de la decadencia científica hasta el siglo XI ofrece —según ya lo señalamos al comienzo de este capítulo— una notable confirmación de esta verdad.

Todo pensamiento científico eficiente ha de saber cómo sopesar ambos impulsos, integrándolos mutuamente. Y ha de saber con tal objeto cómo eliminar de la conservación todo carácter de servidumbre al pasado y de la innovación, todo carácter de pura negatividad. Debe transformar la herencia científica del pasado en instrumento de nuevos desarrollos. Todo aquello que no puede asumir una función de instrumento positivo se convierte poco a poco, irremediablemente, en lastre, en peso totalmente inútil, en obstáculo a todo progreso serio.

Toda construcción teórica o práctica será verdaderamente "nuestra" ("humana") sólo en la medida en que nosotros, hombres, seamos capaces de obrar eficazmente con ella; de dominarla, no de ser dominados. El pensamiento científico no logrará sino perder su condición de ciencia si pierde esta característica de instrumento humano. Para evitar que tal cosa ocurra, debemos sobre todo preocuparnos de que no se cristalice, que no se repita; debemos derribar todas las barreras que lo estorban o limitan, debemos ponerlo en situación de renovarse constantemente y de profundizar el sentido de tal renovación.

CAPÍTULO VI

EL NACIMIENTO DE LA CIENCIA EXPERIMENTAL

(Galileo - Newton)

1. El nacimiento de la ciencia experimental guarda relación con el descubrimiento —nada simple, aunque hoy pueda parecernos obvio— de que existen técnicas muy precisas para dominar racionalmente el curso de la experiencia, es decir, para provocar ciertos fenómenos que pueden repetirse a voluntad y medirse con exactitud matemática, en condiciones controladas por nuestro intelecto. Fue necesario un profundo cambio filosófico para inducir a los espíritus cultos a estudiar ordenada y seriamente dichas técnicas, es decir, para superar el doble prejuicio de que toda actividad práctica resultase demasiado inferior para ser digna de investigación racional, o demasiado recóndita y misteriosa para ser accesible a las fuerzas humanas.

"La antigüedad —escribe Charles Adam caracterizando la nueva actitud de Descartes— (y podemos agregar: de Galileo y de los demás creadores de la ciencia moderna) había creído demasiado, confiaba en la palabra de Aristóteles, que la ciencia no debía ser sino una actividad del espíritu en sí y por sí, por encima de todas las demás, contemplación pura, sin efecto práctico alguno.. La Edad Media, en cambio, había creído sobre todo en el arte, en el *gran arte*: arte secreto en el que no se temía la invocación de los poderes sobrenaturales; el objeto era actuar sobre la naturaleza, transformar los cuerpos, acaso crearlos... Pero se imaginaba que este objeto podía alcanzarse a tientas; se investigaba al azar, sin método. Esto ocurría en todas las artes particulares: cada una poseía sus propios procedimientos y sus ingredientes y, a veces,

lograba realizar obras maestras, pero con medios empíricos; era necesario para ello el genio de un artista o, por lo menos, la habilidad de un artesano. No se pensaba que la ciencia pudiera prescribir reglas al trabajo humano, que pudiera hacerlo al mismo tiempo más simple y más fecundo, que lo colocase, con un poco de estudio, al alcance de todos" (*Oeuvres* de Descartes, ed. Adam-Tannery, vol. XII, París, Cerf. 1910). El ideal de Galileo, Descartes, etcétera, "será el de unir íntima y definitivamente la concepción de la ciencia de la antigüedad con la del arte de la Edad Media", es decir, edificar un saber fundado sobre nuevas técnicas, racionales, válidas ya no sólo en el campo de las ideas abstractas, sino en el campo mucho más rico de las experiencias concretas.

No es difícil comprender el supuesto social que posibilitó este cambio filosófico: se trata de la consolidación victoriosa, decidida, de nuevas riquezas directamente vinculadas con el trabajo y —por tanto— del surgimiento de grupos cada vez más numerosos de científicos profundamente sensibles a los intereses de la producción y capaces de darse buena cuenta de la unidad indisoluble entre la práctica y la teoría. Y la propia organización nueva del mundo político-económico fue la que impuso originales problemas a la investigación científica, apartándola de las discusiones generales, de orden metafísico, para vincularla a cuestiones concretas. "Las obras de paz y de guerra —escribe A. Banfi en su hermoso volumen sobre Galileo Galilei (Milán, 1949)—, la canalización de los ríos, la construcción de puentes, la excavación de puertos, la erección de fortalezas, el tiro de la artillería, ofrecen a los técnicos una serie de problemas que no pueden resolverse empíricamente y que exigen necesariamente un planteo teórico. Y los nuevos estudiosos no egresan de las aulas académicas sino de los ambientes del humanismo libre, de las profesiones civiles." Una importancia especial adquirieron los problemas prácticos planteados por la navegación, que en aquella época debía afrontar nuevos viajes, cada vez más extensos, hacia las ricas tierras recientemente descubiertas.

2. Para darnos una idea exacta de los obstáculos que debían superarse bastará reflexionar —aunque sea brevemente— sobre la complicada historia del ingreso del anteojo en el mundo de la investigación astronómica.

Las más minuciosas búsquedas actuales no permitieron establecer quién fue el primer inventor de las lentes; muy probablemente fue algún oscuro maestro vidriero que las construyó por azar y también por azar advirtió su utilidad para corregir los defectos más comunes de la vista. "El nombre *lentes* —escribe Vasco Ronchi en su obra ya citada (ver cap. IV), nombre que significa, justamente, la legumbre lenteja— es muy vulgar, y basta por sí solo para colocar fuera del ámbito culto el origen del objeto indicado con tal nombre. Para ser más precisos hay que observar que, en verdad, se trataba de la *lente de vidrio* o de la *lente cristalina*, pues si alguien hubiese hablado de lentes, omitiendo la calidad del material empleado, todos habrían creído que se trataba de lentejas. Pero la mejor demostración de que las lentes nacieron fuera del ámbito culto la proporciona, justamente, el modo con que dicho ámbito las trató una vez introducido su uso: las juzgó indignas de ser tomadas en consideración, y no se habló más de ellas en ninguna parte por más de tres siglos. Ninguna otra conjuración de silencio fue tan unánime ni duradera."

Todavía a comienzos del siglo XVII la ignorancia de los "científicos" sobre las lentes era casi completa, y no debe asombrarnos —con mayor razón— su desconfianza respecto de los primeros anteojos construidos por simples artesanos. "El anteojo —escribían— hace ver figuras más grandes o más cercanas de los objetos verdaderos, las hace ver coloreadas y deformadas; por tanto, engaña y no hace conocer la verdad. No puede, entonces, ser utilizado como instrumento de observación."

Fue necesario el genio y la energía de Galileo para sacudir este seudorraciocinio. "Es cierto que el anteojo da figuras distintas de

la realidad, por cuanto las hace ver más grandes o más pequeñas, más próximas o más distantes, coloreadas y a veces confusas, pero eso no quiere decir que engañe siempre, pues puede ocurrir que, a través de las figuras vistas en el anteojo se logre conocer la realidad mejor que a simple vista."

"Galileo fue el primero en el mundo de la cultura y de la filosofía —agrega Ronchi— que llegó a la conclusión de que se debía *creer* en lo que se veía en el anteojo. Con esta premisa de orden filosófico dirige su anteojo al cielo y hace descubrimientos admirables, que siembran la confusión en la astronomía, la física y la medicina de la época. Cuando los hizo públicos . . . todo el ambiente académico, con unanimidad impresionante, enfrentó a Galileo acusándolo de atribuir importancias a ciertas observaciones y de difundirlas como verdaderas a pesar de que, por haber sido hechas solamente con el anteojo, instrumento falaz y misterioso, no podían ser sino ilusiones y quimeras. Pretender revolucionar la ciencia con semejantes observaciones estaba completamente fuera de lugar."

¡Sin embargo fue precisamente aquel acto de confianza de Galileo en los productos de la industria de la artesanía el que inició una de las revoluciones científicas más profundas! Aunque su origen —probablemente— obedeció más a una decisión instintiva y valiente que a una meditada conciencia crítica, sin duda tomó aquella actitud como símbolo de todo un movimiento amplio y profundo que transformó sustancialmente el viejo concepto de ciencia. "Las lentes y la brújula, y una cantidad de instrumentos y de procedimientos de las actividades prácticas —escribe J. Dewey—, fueron utilizadas y adaptadas para las exigencias de la investigación científica. Aquellos procesos ordinarios que durante mucho tiempo habían encontrado aplicación en la artesanía —debilitar e intensificar, combinar y separar, disolver y evaporar, calentar y enfriar, etcétera— ya no fueron desdeñados. Fueron adoptados para sustraer algún secreto a la naturaleza, en lugar de empleárselos únicamente para producir objetos de uso y función prácticos."

3. ¿Podemos percatarnos de la transformación que fue menester introducir en los trabajos de artesanía para transformarlos en trabajo científico?

Ya explicamos en el § 1 que el primer impulso para acometer seriamente los trabajos, que habían sido hasta entonces prerrogativa de la artesanía, los creadores de la ciencia experimental moderna lo recibieron del interés cada vez mayor que la sociedad de la época manifestaba por la producción y, por ende, de las exigencias siempre mayores de nuevas y más eficientes obras de paz y de guerra. Se ha demostrado, por ejemplo, que Leonardo da Vinci, en virtud de las dificultades intrínsecas de las tareas que se confiaban a su arte de ingeniero, se vio obligado a investigar de manera nueva y original los principios de la mecánica, de la dinámica y de la estática: los modelos muy ingeniosos que dibujó (y en parte construyó) de toda clase de máquinas ofrecen aún hoy un sorprendente testimonio del interés práctico que le guiaba en sus primeras investigaciones científicas. También en las investigaciones de óptica y de anatomía se vio guiado, como es sabido, por las necesidades específicas de su propio oficio (en este caso, el oficio de pintor). Lo mismo podría repetirse de muchos otros: desde León Bautista Alberti y William Gilbert, Galileo, etcétera.

Frente a estas tareas prácticas, limitadas, de nada servían las concepciones generales de la antigua filosofía de la naturaleza. "La opinión de Aristóteles —escribe Dampier— servía muy poco para corregir la mala perspectiva de un cuadro, encauzar las aguas de riego o construir una ciudad fortificada. Para estos problemas el comportamiento de las cosas reales era mucho más importante que las opiniones del enciclopédico griego." Pero si las cosas eran así y no resultaba posible utilizar la más antigua y respetada cultura en el estudio de nuevos problemas, ¿a qué método podía acudirse para diferenciar el trabajo científico del trabajo ordinario de millares de artesanos?

No es posible establecer línea precisa de demarcación entre estos dos tipos de trabajos. Sería absurdo, históricamente, pretender introducir entre ellos una discontinuidad neta. Sin embargo, algo nuevo aportaban entonces aquellos que, a siglos de distancia, llamamos hoy científicos; pero no es un método perfecto, válido para toda investigación, consciente de sí mismo. En cambio, es, sobre todo, un nuevo espíritu, una nueva manera de encarar el trabajo.

Quizá podríamos intentar su determinación con los dos caracteres siguientes: 1) introducción de una instancia racional en el estudio de los problemas; 2) conciencia de la necesidad de lograr, para tal estudio, la más amplia colaboración.

En cuanto al primer carácter, debe recordarse en seguida que ya la filosofía de la naturaleza griega y medieval había tratado de insertar los fenómenos de ésta en un esquema de conceptos racionales. Pero este esquema era demasiado general; pretendía ser una explicación completa de todo el curso de la naturaleza; en cambio, ahora se introducían esquemas limitados, se intentaban modelos teóricos de un campo circunscrito de fenómenos (la caída de los graves, la trayectoria de los proyectiles, el funcionamiento de las lentes, la atracción magnética, etcétera) deducidos de la observación de relaciones precisas. Y esto no bastaba: apenas formulada una hipótesis, se ensayaba su validez, verificando si las consecuencias que se deducían de ella hallaban o no confirmación en los hechos. Los resultados de estas comprobaciones se explotaban a su vez para retocar la hipótesis, formando así un círculo ininterrumpido entre la teoría y la práctica.

En la solución de un problema particular comienza a sentirse un interés que excede los límites del problema en sí. Ya no se trata solamente de ejecutar bien una determinada "obra de arte", sino de arrancar un secreto a la naturaleza. Y por eso se difunde —aunque con extremada lentitud— la convicción de que es absurdo trabajar en el secreto del propio laboratorio, ocultando a los demás las tentativas realizadas, los métodos que hayan permitido algún éxito. Se realiza el esfuerzo de describir con máxima precisión el procedimiento empleado y, si bien con cautela, se lo comunica a otros investigadores para que también ellos lo experimenten con la intención común de conocer la verdadera realidad del fenómeno. Esa colaboración depara inmediatamente todas sus ventajas, y se abren nuevas sendas con posibilidades cada vez más amplias.

¿Será posible —según el ejemplo helénico de la matemática— construir también ahora un lenguaje técnico preciso para la formulación de las teorías del enunciado de las leyes, de la descripción de los problemas?

En algunos campos de fenómenos como, por ejemplo, en la mecánica, esta tarea se vio muy facilitada por la posibilidad, vislumbrada inmediatamente y pronto ensayada con gran éxito, de aplicar a la ciencia experimental el mismo lenguaje usado en matemática (fórmulas, figuras geométricas, etcétera). Los primeros resultados admirables de Galileo, Kepler, etcétera, fueron logrados, precisamente, mediante este camino.

En otros campos, en cambio, la situación se presentaba muy distinta y más ardua. Así, por ejemplo, en el de los fenómenos químicos, donde no sólo resultaba casi imposible aplicar inmediatamente la matemática a la naturaleza, sino que era ante todo necesario penetrar con valentía en la secular tradición de los trabajos de los alquimistas, luego liberar paulatinamente sus métodos y conceptos de un sinnúmero de prejuicios de toda índole que los envolvían y estorbaban, limitar las tareas de la investigación y proceder con gran cautela y constancia.

Para captar en toda su complejidad esta fase primitiva de la ciencia moderna me parece de sumo interés recordar que hombres de tanto valor como Newton —que indudablemente habían alcanzado alto nivel científico en las investigaciones mecánicas y ópticas— tropezaban con enormes dificultades para diferenciar sus propias investigaciones químicas

de las de los alquimistas; sin embargo, no dejaron de reconocer la importancia de estas investigaciones, muy alejadas aún de la exactitud científica, y las continuaron tenazmente, de modo que sus largos y pacientes trabajos resultaron premisas indispensables para los espléndidos éxitos del siglo siguiente. Si los antiguos historiadores de la ciencia preferían pasar por alto esta actividad poco rigurosa de Newton, hoy semejante silencio sería inadmisible. En efecto: es muy cierto que dedicó, por lo menos durante muchos años, más tiempo y energía a las investigaciones alquimísticas que a sus celebérrimas investigaciones matemáticas y mecánicas.

En conclusión: sería ridícula la pretensión de establecer una fecha precisa para señalar el pasaje del trabajo experimental precientífico al propiamente digno de entrar en la ciencia. Más que la fecha del nacimiento del pensamiento científico moderno, podemos establecer la época de su adolescencia, es decir, el momento en que, ya afirmado ese pensamiento en algunos campos particulares, comenzó a desarrollarse con ritmo creciente, a adquirir cada vez mayor confianza en sus propias fuerzas y a afrontar nuevos problemas cada vez más difíciles.

La técnica de la ciencia experimental moderna no surgió de golpe; se formó poco a poco y, a través de una larga serie de éxitos y de derrotas parciales, logró adquirir finalmente esa estructura sólida que constituye el nuevo tipo de racionalidad práctica característica de nuestra era. Es una técnica aún hoy en continuo desarrollo, que se ramifica en un número cada vez mayor de lenguajes particulares (para la termología, la óptica, la electricidad, la química, etcétera), todos vinculados entre sí y relacionados con el lenguaje matemático, pero manteniendo —respecto de este último —una característica bien determinada: la característica de que la precisión de los conceptos utilizados aparece indisolublemente vinculada con la precisión de los instrumentos experimentales y, por lo tanto, con el grado de perfección logrado en la compleja preparación de estos instrumentos (elaboración del vidrio, de los metales, de los generadores de energía, etcétera).

4. Hemos dicho antes que en algunos campos particularmente simples de los fenómenos naturales la fractura entre el trabajo precientífico y la ciencia propia y verdadera fue señalada por el uso sistemático del álgebra y de la geometría. ¿Cómo justificar esta afirmación si —según acabamos de explicar— la ciencia natural se caracteriza por un lenguaje propio, vinculado operativamente con la experiencia y, por tanto, irreducible al lenguaje abstracto de las disciplinas matemáticas?

Aludimos aquí a uno de los más grandes problemas del pensamiento científico moderno: explicar cómo los conceptos y teoremas matemáticos pueden utilizarse con tanto éxito en la teorización de los fenómenos naturales.

Desde el punto de vista histórico, recordaremos que la confianza en el valor cognoscitivo de la matemática pudo sostenerse, en sus comienzos, sobre un postulado metafísico-religioso que, si hoy puede parecernos casi pueril, poseyó seguramente máxima eficacia práctica en tiempos de Galileo. Se trata del postulado según el cual Dios mismo, en el acto creador, impuso al universo un sistema de leyes concebidas matemáticamente, es decir, que el gran libro de la naturaleza fue escrito por su creador en símbolos matemáticos, de modo que para leerlo fuera necesario y suficiente conocer estos símbolos y usarlos con rigurosa precisión.

El resultado más importante de tal actitud (desde el punto de vista general) es que el investigador ya no va en busca de oscuras "esencias" de los fenómenos, ni de remotas causas metafísicas, ni de inverificables causas finales. El lenguaje matemático no puede captar sino relaciones entre los fenómenos, pero estas relaciones son algo que puede medirse, y, por lo tanto, algo que puede verificarse o falsificarse [1]. Quien pretenda utilizarlo debe limi-

1 "Falsificar una proposición" significa —en el lenguaje metodológico moderno— demostrar que es falsa.

tarse a estudiar las leyes de la experiencia y renunciar a interesarse por su pretendido sustrato metafísico. "El método científico —explica muy bien Banfi en su ya citada obra sobre Galileo— no es sino la extensión del método matemático; y consiste en analizar un fenómeno físico en sus varios momentos, determinando las relaciones tanto recíprocas como constitutivas del propio fenómeno. Es obvio que el fenómeno considerado no puede analizarse en su complejidad inmediata, en todo el conjunto de las relaciones que lo constituyen, sino sólo paulatinamente según los varios planos que se intersecan, de esas relaciones. El fenómeno sufre de tal manera un proceso de abstracción; y sólo sucesivamente los distintos planos de abstracción, a los cuales corresponde el sistema complejo de leyes, se van sistematizando, unificando, y recíprocamente ordenando."

¿Existirá un plano privilegiado de esas abstracciones en que sea más fácil la reducción del fenómeno a las relaciones que lo determinan? La respuesta de los primeros científicos modernos es positiva: el plano privilegiado es el de la mecánica, donde entran en juegos los conceptos sugeridos más inmediatamente por la técnica de las llamadas máquinas simples. Por lo demás, este plano tiene la ventaja de poderse determinar por relaciones expresables en forma matemática elemental, forma que nos permite penetrar en las propiedades más características del plano inclinado, de las palancas, etc. El extraordinario éxito logrado sobre este plano por la aplicación de las fórmulas matemáticas constituye —según el juicio de los primeros investigadores— una confirmación indiscutible del valor cognoscitivo del método adoptado, y les estimula para extender el modelo de la interpretación mecánica a todos los planos de las relaciones interfenoménicas. Se convierten así las leyes de la mecánica en los principios generales de toda teoría físico-matemática del universo.

5. Los desarrollos de la investigación experimental modificaron poco a poco la visión que acaba de mencionarse. El hecho mismo de que la matemática comenzara a sugerir nuevos métodos (por ejemplo, el análisis infinitesimal) y que estos métodos se revelaran extraordinariamente fecundos en la investigación física, aun antes de encontrar una precisa justificación lógica en el edificio de la matemática clásica, sugirió la idea de interpretar el lenguaje matemático no ya como el modelo perfecto del saber científico, sino —más simplemente— como un auxiliar útil en el estudio de la naturaleza.

Rebajada al rango de instrumento puro, la matemática perdía gradualmente el valor absoluto que le atribuyeron los griegos y terminaba buscando su propia justificación sólo en la amplitud de las aplicaciones logradas. Ya en Galileo (que para justificar su propio método había acudido al postulado de que Dios mismo había escrito en términos geométricos el gran libro de la naturaleza) la teoría matemática de los infinitésimos, que apenas nacía entonces, se considera no como un capítulo cabal y propio de la ciencia, sino únicamente como un método útil para las ciencias físicas. Igual opinión sostendrá varios decenios después el gran Newton, que, rehusando publicar sus grandes descubrimientos sobre el cálculo de las fluxiones [1] (inseguro sobre su valor teórico y deseoso de no dejarse arrastrar a discusiones largas y abstractas) los utilizará correctamente en las investigaciones físicas, convencido de que bastará el éxito de las comprobaciones experimentales para garantizar el valor lógico del procedimiento empleado.

[1] El método newtoniano de las fluxiones parte de la comprobación intuitiva de que las líneas "no se describen mediante la adición de sus partes, sino por el movimiento continuo de puntos, las superficies por el movimiento de líneas, etc." Llamando, en general, "fluentes" a las cantidades producidas por tales movimientos continuos, Newton da el nombre de "fluxiones" a las velocidades de crecimiento de esas fluentes, pero observa que no interesan en sí mismas, sino sólo en sus razones recíprocas. Las reglas a que obedece el cálculo de las fluxiones cuando se dan las fluentes corresponden a las reglas del actual cálculo de derivadas; en cambio, aquéllas, para el cálculo de las fluentes, cuando se dan las fluxiones, corresponden al actual cálculo integral.

¿Estamos aún dentro de la tradición euclidea o nos hallamos más cerca de Herón que de Euclides? No es fácil responder a esta pregunta, porque la concepción clásica de la geometría como ciencia perfecta es aún admitida por varios contemporáneos de Newton y continuará su predominio en muchos espíritus egregios. A su lado, sin embargo, nos hallamos con algunas actitudes singulares que tienen extraordinario valor sintomático. Si bien falta todavía una conciencia metodológica clara de la verdadera estructura de la matemática y de la física, la buena senda ya está individualizada. Habrá que aprender a seguirla hasta sus consecuencias extremas.

6. Hoy el físico sabe que nada garantiza *a priori* la aplicabilidad, al tipo de fenómenos que estudia, de una determinada teoría matemática con preferencia a otra; por lo tanto siempre estará dispuesto —cada vez que ella no logre la explicación buscada— a intentar la aplicación de otra teoría.

Que cierto tipo de funciones o cierto grupo de postulados geométricos o mecánicos resulten útiles en el examen de este o de aquel fenómeno no es para él sino una hipótesis de trabajo, sugerida por el éxito ya comprobado en fenómenos análogos. Ningún físico, para aplicar determinado capítulo de análisis o geometría o de cálculo de probabilidades, etcétera, necesita apelar al acto de fe según el cual Dios ha escrito justamente en ese lenguaje especial el libro de la naturaleza. Ensaya, y si un lenguaje no resulta útil, no se ofende ni lo apostrofa (puede resultar útil en otras ocasiones); se limita a buscar un nuevo lenguaje, igualmente exacto pero estructurado en forma distinta.

Por otra parte, el desarrollo de la matemática más moderna ha demostrado, según veremos en el capítulo IX, que no existe un solo lenguaje matemático, como si debiera hacerse uso de él o renunciar a toda la matemática. En verdad, los lenguajes matemáticos son muchos, cada uno de ellos provisto de alguna característica peculiar que pueda hacerlo adecuado a un capítulo especial de la física. Conceder *a priori* un privilegio a uno respecto de los demás no puede ser sino el fruto de un grave dogmatismo.

El criterio último, decisivo, para la adopción de un tipo de funciones, de un grupo de postulados, etc., será siempre, y solamente, la experiencia. La más hermosa teoría matemática, la más coherente, la más rica en desarrollos analíticos, carecerá de interés físico si no logra vincularse de algún modo con los datos empíricos.

7. La aplicabilidad de los lenguajes matemáticos (ya de uno, ya de otro de ellos) a la teorización de los fenómenos es hoy un hecho indiscutible en ciertas ramas de la ciencia natural. Para otros fenómenos, empero, la cuestión aún permanece *sub iudice*, y quizás aquéllos son justamente los más interesantes desde el punto de vista metodológico.

En efecto: confirman lo que ya podemos descubrir mediante el estudio de la historia de la ciencia, es decir que el uso de un lenguaje matemático constituye siempre, para cualquier teoría científica, un notable progreso en el rigor. O sea: emplear un lenguaje matemático significa utilizar una técnica expositiva particularmente controlada, donde cada término, cada operación, cada regla, se define exactamente; donde cada contradición surge evidente, y cada tentativa de evadirse de ella ha de revelar todos los instrumentos indispensables para tal objeto.

Sin embargo, todas las técnicas de las ciencias de la naturaleza poseen algo irreducible a matemática pura. Y este "algo" es la base fenoménica, es el llamado a la experiencia, la vinculación de las fórmulas con el dato objetivo.

Esta vinculación surge a través de la preparación y ejecución del experimento, a través de las mismas operaciones elementales implícitamente envueltas en la determinación de los conceptos físicos. Extender sobre ella un velo de silencio significaría desconocer la estructura más íntima de las ciencias de la naturaleza. Reconocer su existencia, en cambio, no significa aceptarla tal cual es, en su esponta-

neidad intuitiva, sino corregirla, precisarla, perfeccionarla.

La partida de nacimiento de la moderna ciencia de la naturaleza aparece ligada al reconocimiento de que la vinculación de que estamos hablando no constituye de por sí una derrota de la razón humana como, en cambio, lo creía Platón. Es decir, aparece ligada al reconocimiento de que la razón humana no reniega de sí misma, sino que se refuerza y se completa cuando intenta la construcción de teorías no ya desvinculadas entre abstracciones puras, sino vinculadas por la rigurosa correspondencia entre los propios conceptos (con sus reglas de aplicación) y los datos de la realidad (con sus relaciones empíricas).

Galileo descubrió que el hacer descender los conceptos y los debates científicos del cielo de las abstracciones a la tierra concreta no equivale a disminuir su racionalidad viva. Sobre todo, descubrió que este descenso, esta vinculación con la tierra, podía dominarse por obra del hombre, y no constituía necesariamente un hecho casual, como ocurría con los experimentos de los artesanos.

Así fueron cayendo, uno por uno, los antiguos prejuicios contra el estudio de las máquinas, de los materiales prácticos, de los aparatos de los artesanos. Estos aparatos pudieron ingresar en las técnicas científicas y someterse con ellas a un control continuo, a continuos análisis y recomposiciones. Constituyeron el punto de partida de nuevas investigaciones y, a su vez, fueron arrastrados por el desarrollo de estas investigaciones.

La nueva senda abierta de esta manera a la actividad humana logró tales éxitos que ha demostrado a todos que acudir a ella significa una valorización de la razón humana, no un envilecimiento. Los escasos adversarios que hoy se atreven a estorbarla ya no lo hacen en nombre de la razón, sino en contra de ella: son los denigradores del poder humano, son aquellos que intentan sustraernos a la lucha activa que tenemos la obligación de emprender en este mundo.

No obstante todas las argumentaciones artificiales, anticientíficas, el hombre de hoy advierte que ya no podrá renunciar a la senda de la ciencia experimental. Es la senda más idónea para la actuación del reino concreto de la humanidad. Una renovación crítica de esta ciencia siempre podrá ser útil: su abandono significaría una traición a lo que constituye el fundamento de nuestra civilización.

CAPÍTULO VII

LA CONFIANZA EN LA RAZÓN HUMANA

(Descartes - Los iluministas)

1. En cuanto la ciencia demostró que podía insertarse con éxito en el tipo de investigaciones que durante milenios habían quedado reservadas a las artes secretas y misteriosas de la alquimia, astrología, etcétera, también heredó las ambiciones de esas artes y, en primer término, la de actuar sobre la marcha de la naturaleza para dominarla, trasformarla y someterla al género humano.

Pero este programa exigía, ante todo, que la propia ciencia se concibiera como una construcción esencialmente humana, es decir, como un instrumento creado por nosotros para nuestro uso y provecho; ya no como un ob-

sequio mas o menos gratuito de un intelecto superior, sino como una conquista gradual y espontánea del hombre. Esta humanización de la ciencia fue iniciada con gran energía por los metodólogos del siglo XVII —en particular por Galileo, Bacon y Descartes— y continuada y ampliada jactanciosamente por los iluministas del siglo siguiente.

Por no serme posible exponer detalladamente el pensamiento de los tres autores mencionados, y por haber ya hablado bastante en el capítulo anterior de la aportación de Galileo al descubrimiento de la nueva ciencia experimental, me limitaré ahora a discutir brevemente la contribución metodológica de René Descartes. En efecto: a mi entender, la concepción cartesiana necesita, más que otras, aclaraciones precisas, pues también ha sido, más que otras, radicalmente mal entendida.

La mayor parte de los intérpretes suelen presentarnos a Descartes como un convencido defensor de la validez absoluta y de la aplicabilidad universal del nuevo método que contrapuso al método silogístico de la vieja escuela aristotélica. Con tal presentación, sin embargo, se corre el riesgo de no advertir el espíritu verdaderamente original del descubrimiento de Descartes, es decir, el nuevo soplo de humanidad viva que le anima en todo momento, y que constituye, sin duda, su mayor valor (valor reconocido aun por quien —como el científico de hoy— está ya muy lejos de la senda cartesiana).

Si es verdad que el gran pensador francés dedicó dos de sus obras principales —las *Regulae ad directionem ingenii* y el *Discurso del método*— a la explicación de aquella nueva senda que él había abierto, según entendía, a la investigación científica, no es menos cierto que no deja de decirnos y repetirnos, con palabras muy claras, que su intención no era "la de enseñar el método que cada cual debe seguir para bien conducir su razón, sino solamente la de mostrar de qué manera yo (René Descartes) he tratado de conducir la mía". "Mi designio jamás fue más allá del propósito de reformar mis propios pensamientos y edificar sobre un terreno totalmente mío. Y sí, por gustarme mucho, os muestro aquí mi labor como modelo, no pretendo con ello, sin embargo, aconsejar a nadie su imitación." Por lo tanto, el nuevo método era considerado por Descartes no como un canon absoluto que debía imponerse a todo investigador, sino como un ejemplo de una búsqueda de tipo nuevo que él ofrecía a los contemporáneos, búsqueda cuya novedad debía consistir, ante todo, en el hecho de ser una construcción completa del hombre sobre un terreno totalmente suyo.

En este sentido asume particular significado la célebre comparación del herrero, con la cual Descartes demuestra claramente el deseo de vincular la labor del científico con la del artesano y, precisamente, el propósito de valerse de esta inseparable continuidad para poner en claro el aspecto más característico para él, de la investigación científica. "Este método imita aquellas artes mecánicas que no necesitan de auxilio ajeno, sino que ellas mismas indican cómo deben fabricarse sus instrumentos. Si uno deseara ejercitar una de esas artes, por ejemplo la del herrero, y no dispusiera de las herramientos del oficio, al principio seguramente se vería obligado a utilizar una piedra dura o algún tosco trozo de hierro como yunque, tomar una piedra como martillo, adaptar unos trozos de madera como tenazas, y procurarse como puede otras cosas semejantes; y finalmente, preparado todo esto, no tratará, en seguida, de forjar para otros espadas o yelmos, ni ninguna de esas cosas que se construyen con hierro, sino que fabricará ante todo martillos, yunques, tenazas y los demás objetos que le son útiles." De manera análoga, la ciencia no es algo que pueda crearse de golpe; es una conquista gradual nuestra, y cada uno de sus descubrimientos, en todo caso, será válido, antes que por su valor intrínseco por su valor instrumental para otras conquistas superiores.

2. Dentro de este orden de ideas es necesario incorporar la violenta rebelión contra la lógica formal (aristotélica) que proclamaron Descartes y los mejores científicos de su época.

Para los investigadores del siglo XVII aquella lógica se presentaba sólo bajo el aspecto de un complicado aparato silogístico desprovisto de conexiones con las efectivas operaciones humanas de investigación, es decir, como una pesada armadura que no servía sino para sujetar y sofocar la fértil originalidad de la labor científica; un esquematismo, en fin, derivado de viejos supuestos metafísicos ya superados e impuesto a nosotros por algo extraño a nuestra mente.

La logicización de las teorías, para esos estudiosos, no constituía un medio de adueñarnos más de ellas, sino de convertirlas en algo extraño a nosotros, revistiéndolas de procedimientos artificiosos, perjudiciales para la investigación.

"Alguno quizás se asombrará —escribía Descartes— que en esta ocasión, cuando investigamos la manera de tornarnos más aptos para deducir verdades, unas de las otras, dejamos de lado todos los preceptos con los cuales los dialécticos estiman que debe dirigirse la razón humana . . . ; es que advertimos que a menudo la verdad se substrae a esos vínculos, mientras que aquellos que los utilizan quedan atrapados en ellos."

Tomando en consideración cuanto hemos explicado en el capítulo V, me parece oportuno recordar que aquella misma lógica, a la cual Abelardo y los demás lógicos medievales acudían como precioso instrumento de investigación, era juzgada por Descartes, y sus contemporáneos, como un estorbo meramente inútil.

Sería un error preguntarnos quién tenía razón: los lógicos medievales o los metodólogos del siglo XVII. Para juzgar con seriedad ambas actitudes es necesario, ante todo, ubicarlas históricamente, es decir, insertar la una y la otra en las respectivas épocas en que surgieron y se afirmaron. Entonces será fácil comprender que los medievales no podían dejar de apreciar la lógica que, a sus ojos, constituía un recurso realmente eficaz para desenvolverse con sutiles distinciones entre los equívocos, los sentidos traslaticios y las alegorías de la tradición mística que dominaba en aquella época; los metodólogos del siglo XVII no podían dejar de repudiarla, ya que se manifestaba irremediablemente estéril ante los nuevos problemas, dirigidos sobre todo a aumentar el poderío del hombre sobre la naturaleza.

Conforme lo hemos dicho ya varias veces, todo cuanto se presenta con el carácter de una imposición extrínseca es, por definición, incompatible con el pensamiento científico. En cuanto la lógica formal adquirió tal carácter (es decir, en cuanto pretendió imponerse a la ciencia no por su reconocida utilidad, sino por la autoridad del nombre de Aristóteles, su fundador) se convirtió en un obstáculo para el progreso, y como tal fue combatida por las inteligencias más abiertas y contraídas a la labor cultural. Si la situación hoy ha cambiado nuevamente, ello depende tan sólo del hecho de que la lógica ya no se presenta ante el estudioso moderno como un tropel de reglas silogísticas que es preciso tomar, ya elaboradas, de los libros de Aristóteles, sino como un instrumento muy fino y muy variado que nosotros mismos elaboramos, corregimos, modificamos y construimos, pieza por pieza, según nuestras necesidades.

3. Como consecuencia natural del planteo programático de la labor científica que acabamos de explicar se desarrolló la concepción filosófica conocida históricamente con el nombre de «iluminismo». Esta concepción no sólo representa una importante tendencia del pensamiento que alcanzó notable gravitación en el siglo XVIII, sino que —a mi entender— es uno de los aspectos más profundos de la actividad científica, algo así como uno de sus caracteres eternos.

La concepción iluminista generaliza, en el plano filosófico, la confianza del científico en la razón, pero no la confianza de tipo metafísico, fundada sobre la hipótesis, más o menos explícita, de que la razón constituya la sustancia última de lo real, sino la confianza de tipo operativo, fundada sobre los innumerables éxitos que el hombre ha logrado cada

vez que sustituyó un comportamiento dogmático por un comportamiento racional. Es una concepción en que la racionalidad no se admite como algo objetivo, casi como un supremo principio de la naturaleza, sino como el principal elemento propulsor del progreso cultural de la humanidad.

En el siglo XVIII el impulso de la razón ya no opera sólo en el interior de la ciencia para permitir a los investigadores la conquista de nuevos resultados; irrumpe en la ciencia del mundo entendido en toda su amplitud de mundo cultural, civilizado, político. Los espíritus superiores se sienten en la obligación de no conservar para sí lo que han aprendido, de no concentrar todas sus energías en el desarrollo puro y simple de las verdades científicas, sino en el de divulgarlas de la manera más comprensible para despertar, excitar, iluminar. No ha concluido aún la discusión de una teoría científica o filosófica en los gabinetes de los doctos, cuando ya se la discute en los salones y, poco después, en las calles y en las plazas.

Esta vocación, que podríamos llamar "misionera", fue sentida sin duda con cierta ingenuidad y, para quien la contemple desde afuera, puede suscitar una impresión desfavorable. En efecto: detrás de tanto entusiasmo no es difícil advertir un innegable dogmatismo, expresión de una escasa conciencia íntima de la cabal dificultad de los problemas. "La falta de preparación filosófica de las armas del pensamiento con que se entró en la lucha no restó, sin embargo, nada de su importancia a la misión histórica de los hombres que iniciaron el combate. Cuando se trata de la vida se han de emplear las armas de que se dispone. Y aun cuando no siempre se tiene la impresión de que los filósofos franceses del siglo XVIII poseían cabal superioridad intelectual, y aun cuando ellos, mediante su celosa preocupación por simplificar y vulgarizar, empequeñecieran a veces lo grande y profanaran lo realmente sublime, detrás de su dogmatismo, de la ceguera y angustia de sus mentes, existía una fe ardiente en el progreso y en la humanidad, y por esta fe se les pueden perdonar muchos pecados." (H. Hoffding).

4. Los nombres y las obras de los grandes iluministas franceses son muy conocidos: Voltaire, Montesquieu, Helvetius, Diderot, d' Alembert, Rousseau, etcétera. Su crítica comprende los más diversos problemas del espíritu, desde la economía a la educación, desde la religión a la física. A través de la gran Enciclopedia irradian su propia acción hacia estrados cada vez más amplios de la cultura, forman nuevas conciencias, alimentan orgullosas esperanzas, preparan a Francia y a Europa para la profunda renovación de la Revolución.

No es empero de nuestra incumbencia exponer aquí, ni en sus grandes lineamientos, el desarrollo de esta página que figura entre las más hermosas de la historia moderna. A nosotros el iluminismo nos interesa exclusivamente como exteriorización de un aspecto fundamental del pensamiento científico, aspecto que es necesario absolutamente tener en cuenta si se quiere comprender la ciencia en toda su real complejidad.

Sería con todo un error circunscribir al siglo XVIII la presencia —en la historia de la humanidad— de una actitud como la que acaba de explicarse. Los estudios más modernos han comprobado, en efecto, el carácter iluminista de muchas tendencias del pensamiento, muy anteriores al siglo XVIII; baste pensar en el movimiento sofístico-socrático en la Atenas del siglo V a. C., o en la corriente del pensamiento iniciada por Galileo. Además, el espíritu iluminista puede sin duda encontrarse nuevamente en muchos autores del siglo XIX, y hoy mismo renace con gran energía, si bien con algunas variaciones sustanciales.

Expresa, como lo dice muy bien Banfi a propósito de Galileo, "el plano universal alcanzado por la investigación científica, que de los campos particulares... irradia a toda la realidad física, como una verdad infinita en progreso constante. Esto significa una trasformación radical del sentido de la vida, que ya no se presenta predispuesta según un fina-

lismo ideal, sino que se revela como una lucha activa en favor de la realización de un reino concreto de la humanidad". En otras palabras: es la afirmación victoriosa del hombre que, apoyándose en las propias conquistas científicas, seguro ya del poder de la propia razón, acepta valientemente su lugar en el mundo sin la ilusión de ser el "centro natural" (es decir, el centro por inescrutable predestinación del Creador), pero con la noción de trabajar con energía revolucionaria para trasformarlo y humanizarlo, para convertirse efectivamente, por propia iniciativa y por su denodado esfuerzo, en el centro operativo del mundo renovado.

5. Después de lo que hemos dicho, en general, sobre la actitud iluminista, es evidente que todos los movimientos que siguieron sus huellas tenían que chocar, más tarde o más temprano, con las fuerzas conservadoras de su época. Como en el siglo XVIII las fuerzas conservadoras se personificaban sobre todo en la Iglesia católica; contra ella, en particular, los iluministas dirigieron sus críticas.

Pero ha de tenerse muy presente que, en verdad, no fueron las críticas filosóficas las que determinaron la característica aspereza de aquella polémica (la antítesis sobre filosofía racionalista y pensamiento cristiano es un hecho general, muy antiguo, ¡y de ninguna manera específico del siglo XVIII!), como tampoco lo fue la imposibilidad de conciliar los distintos descubrimientos de la nueva ciencia con los dogmas de la religión. Respecto de esta falta de conciliación considero útil observar que ella también debe ser considerada desde un ángulo histórico, no desde un punto de vista absoluto. La propia Iglesia vive en la historia, y puede, por lo tanto, transformar su patrimonio dogmático (o, por lo menos, modificar su interpretación) hasta conciliarlo con lo que a primera vista parece ser antiestético. La alternativa de la condena del sistema copernicano ofrece excelente ejemplo de cuanto se acaba de exponer. En algunos casos, por otra parte, el cambio es tan profundo que tal vez resulte condenable la propia teoría aceptada antes como la más concordante con el dogma [1].

No fueron, pues, las divergencias filosóficas ni las científicas las que engendraron el choque profundo entre el pensamiento iluminista y la Iglesia católica. Su verdadera razón debe buscarse en el ambicioso programa de renovación general que los iluministas pretendían extraer de su pensamiento científico-filosófico, es decir, en la carga de energía que se desbordaba de este pensamiento hacia todas las ramas de la vida civil.

En el plano práctico, no en el teórico, tuvo lugar el encuentro más áspero; y no por azar, dada la energía con que los iluministas empeñaban su acción concreta sobre el mundo. Su actitud científica era, como hemos tratado de ilustrarlo, esencialmente extravertida —es decir, dirigida hacia el campo general de la cultura— y, por lo tanto, era fatal que eso les llevara a luchar contra todos los mitos, en cualquier región de la cultura donde éstos se anidaran. Su lucha fue una lucha dirigida hacia la humanización integral de la civilización y de sus valores, y las zonas donde hallaron resistencia mayor fueron, naturalmente, aquellas de la vida civil que hasta entonces se habían sustraído en mayor grado al dominio del hombre, al soplo renovador de la razón.

6. Para dar un ejemplo de la posición característica de la mentalidad iluminista ante el problema específico de Dios, puede ser oportuno —en lugar de detenernos en los autores más empeñados en la polémica antirre-

[1] Vale la pena recordar un caso particularmente significativo. Hasta el siglo XVII la fe en la posibilidad de la generación espontánea estaba tan difundida (por ejemplo, se pensaba que las ranas pudiesen nacer del barro por la acción del sol), que las experiencias de Francisco Radi, dirigidas a demostrar lo contrario, se consideraron incompatibles con las Sagradas Escrituras y, por lo tanto, atacadas por los teólogos. Menos de dos siglos después (es decir en el siglo XIX) los papeles se habían invertido completamente: ahora los teólogos estaban en contra de la generación espontánea, y en favor de ella estaban en cambio los materialistas Vogt, Haeckel, etc., que esperaban utilizarla para explicar en términos naturales el origen de la vida.

ligiosa y que se vieron arrastrados por ella a actitudes extremas— mencionar algún otro filósofo que, aun orientado indudablemente hacia el iluminismo, afrontó la cuestión con mayor tranquilidad y espíritu conciliador. Con todo, el desacuerdo sustancial entre la posición iluminista y la de la teología tradicional, es particularmente útil para aclarar la novedad del iluminismo.

Me referiré, para elegir un ejemplo entre los más fáciles y significativos, a la posición de John Stuart Mill, que, si bien vivió en el siglo XIX, se mantuvo —frente al problema de Dios— más próximo al pensamiento de los iluministas que al de las filosofías ochocentistas. Mill no niega, por principio, la existencia de un ser supremo, sino que se limita a estudiarlo de la manera más rigurosa en sus relaciones con el mundo. Y como los acontecimientos del mundo resultan, ante el examen de un observador atento y honesto, evidentemente irreconciliables con el dogma tradicional del infinito poder y de la infinita bondad del Creador, rechaza (sin ninguna preocupación metafísica) el primero de los dos atributos y conserva sólo el segundo.

Por razones de espacio no puedo detenerme a exponer la argumentación precisa, y sin prejuicios, con que Mill demuestra la insanable contradicción entre el curso de los sucesos más ordinarios del mundo natural y humano y la hipótesis de un Dios omnipotente e infinitamente bueno. Para mí el punto más característico es la conclusión lograda por Mill: Dios existe, es bueno, pero precisamente por disponer de un poder limitado necesita absolutamente de la colaboración humana. Surge así fundamental —hasta en el gran drama cósmico— la obra decisiva del hombre. El Dios de Mill no es un "principio del mundo", sino un ser totalmente inserto en el mundo, como lo están los demás seres y, en particular, esos preciosísimos colaboradores de Dios que son los hombres.

Profundizando el examen se ve luego que el verdadero centro de esta lucha no es Dios, sino el hombre, puesto que la finalidad de ambos —en su noble batalla— es una finalidad totalmente humana. Y por esta alianza el hombre no pierde nada de su propia independencia: solo le sirve para infundirle renovada confianza en las propias fuerzas y en la propia misión. La existencia de Dios solo sirve para garantizarle la solidaridad de todos los seres buenos; pero la lucha prosigue y conserva los atributos de una lucha humana, en la que cada uno de nosotros mantiene intactos los propios deberes, las propias responsabilidades, el propio interés fundamental.

De la antigua religión, con sus problemas metafísicos respecto de la trascendencia, de lo absoluto, puede decirse que no ha quedado ya nada. El iluminismo ha confirmado una vez más su carácter totalmente humano, ¡logrando humanizar hasta el concepto de ser supremo!

7. Quien examine, desde un punto de vista actual, los grandes temas del iluminismo del siglo XVIII no podrá dejar de sentir, como ya he dicho, cierto fastidio ante el ingenuo optimismo de que esta tendencia aparece totalmente impregnada. La excesiva confianza en que se funda la actitud iluminista tiene, en efecto, algo de innegablemente dogmático, y ninguna filosofía seria puede abrigar la ilusión de lograr su justificación.

Pero si no se lo puede justificar, se lo debe sin embargo comprender: se explica como manifestación de la exuberancia juvenil del pensamiento humano, cada vez más osado ante los admirables éxitos de la investigación científica, y consciente de tener ante sí inmensos campos que explorar y vastos deberes que cumplir.

El postulado de la infabilidad de la razón no era, sin duda, más que una fe, no muy distinta, teóricamente, de la fe religiosa en un mundo trascendente, contra la cual combatía con jactanciosa arrogancia. Pero en la labor concreta de los iluministas la nueva fe se convertía en una fuerza muy eficaz, tenazmente dirigida a iluminar y dirigir el mundo.

¿Qué significa la palabra "razón"? Sería inútil exigir al iluminismo una respuesta a

esta pregunta. En verdad, tampoco llega a plantearse la pregunta. Lo cual no le impidió, sin embargo, hacer cumplir notables progresos a la razón, del mismo modo que el desconocimiento de la naturaleza de la poesía no impide en modo alguno la composición de poemas admirables al poeta sinceramente inspirado.

Si en una época de desarrollo científico maduro la reflexión crítica es indispensable tanto al matemático, al físico y al biólogo, como al filósofo, puede resultar un estorbo para quien se halle empeñado en los primeros pasos del largo y duro camino de la ciencia. Cuando las técnicas especiales son aún inseguras, conviene arriesgarse con ellas, poner concretamente a prueba su eficacia, confiar en el primer impulso, en lugar de esterilizarse en un examen demasiado arduo y delicado de los fundamentos. Nada más expresivo, en esta etapa de la investigación, que la célebre frase atribuida a d'Alembert: "¡Proseguid y la fe vendrá!" Ésta puede elevarse a la condición del carácter general del pensamiento iluminista: proseguid, tened fe en la razón, y la razón os demostrará con sus mismos éxitos el poder infinito que encierra.

La razón no es algo que trasciende al hombre, no es una fuerza que debemos implorar a seres superiores. Constituye lo que hay de más profundamente humano en nosotros, y jamás nos dejará de la mano si sabemos movilizar con toda sinceridad nuestras energías, sin titubeos, sin términos medios, sin detenernos ante ninguna barrera exterior. Cuanto mayor sea el empleo que hagamos de la razón, tanto más completo será el conocimiento que de ella adquiramos.

Al proseguir coherentemente el camino abierto por el iluminismo, el pensamiento científico logró hoy, como veremos, una conciencia crítica que a primera vista puede contrastar netamente con la juvenil confianza inicial. Calando más hondo en las cosas, advertiremos, sin embargo, que en realidad no existe tal contraste; la conciencia de hoy no es sino el desarrollo de la energía de ayer. La herencia legada por el iluminismo no es pasiva; en efecto, no es un conjunto sistemático de dogmas, sino una fuerza de propulsión invencible. Si la confianza inicial de esta fuerza pudo parecer el fruto de una actitud dogmática, la fecunda capacidad operativa que reveló garantiza hoy su plena eficacia en el ámbito de los valores relativos de que el hombre dispone concretamente.

CAPÍTULO VIII

EL PELIGRO DE TRANSFORMAR LA CIENCIA EN METAFÍSICA

(El positivismo)

1. Durante el siglo XIX logró prevalecer en gran parte de los filósofos y de los científicos (no en todos, como lo veremos en el capítulo siguiente) una interpretación del pensamiento científico que si por un lado se vinculaba con concepciones y esperanzas del siglo anterior, por el otro terminaba por contradecir de manera clara el núcleo más vivo del iluminismo. Nos proponemos ilustrar ahora esta nueva interpretación y subrayar sus graves peligros.

Conforme lo hemos mencionado ya, la confianza iluminista en la ciencia se fundaba en el supuesto de la capacidad indiscutida, de la razón humana, para desentrañar la estructura

profunda de los fenómenos. Es cierto que el iluminismo, en vez de detenerse sobre las implicaciones metafísicas de tal supuesto, prefería insistir sobre el aspecto humano, operativo, concreto, de la razón (también dijimos que, a nuestro entender, éste es el aspecto mejor de la actitud iluminista); pero también es cierto que la carencia de una justificación del poder de la razón constituía un punto bastante débil y una posible fuente de no leves equívocos filosóficos.

En verdad, el problema había sido afrontado con gran profundidad filosófica —justamente en el siglo XVIII— por Immanuel Kant; pero su pensamiento careció de influencia decisiva hasta el siglo XIX. Sin detenernos analíticamente en él, bastará recordar que la crítica kantiana, desarrollada y acaso parcialmente disfrazada por los idealistas, condujo a una concepción de la ciencia que puede resumirse así: nuestra razón logra captar la profunda estructura de los fenómenos porque coincide con el principio racional constitutivo del universo. En otras palabras: la garantía filosófica del poder cognoscitivo de la ciencia reside en la identidad de la razón humana —que se hace explícita en la investigación científica— con la razón universal que constituye la base misma del mundo.

Admito, con la más reciente historiografía filosófica, que esta concepción de la racionalidad —que podemos llamar "romántica"— haya dominado no sólo las escuelas idealistas poskantianas, sino también, pero con características distintas, gran parte de las corrientes positivistas que se desarrollaron en el siglo XIX. Me parece que desde Fichte hasta Hegel, desde Comte hasta Spencer, todos los pensadores más representativos del siglo estaban convencidos de que la ingenua y dogmática fe iluminista en la razón podía justificarse, en un plano superior al operativo, por la sustancial compenetración de la realidad con la racionalidad. Y es interesante observar que también los físicos, los biólogos, etcétera, se dejaron guiar, en sus respectivas ciencias, por una concepción análoga y, por ende, buscaron leyes naturales cada vez más generales, convencidos de que la tarea última de la investigación científica era, precisamente, la de captar los principios constitutivos del universo. Fruto de tal mentalidad son las conocidas formulaciones de los grandes principios de conservación de la materia, de conservación de la energía, de evolución, etc. Aun abrigando la ilusión de no sufrir ninguna influencia de la metafísica, esos estudiosos aceptaron dogmáticamente, como realidad última de la naturaleza, el modelo que de ella habían forjado sus propias construcciones científicas.

Hoy esos mismos principios se conciben como leyes fundamentales que poseen una función normativa muy importante en el ámbito teórico y experimental, pero, por eso mismo, susceptibles de todas las precisiones críticas, ampliaciones y transformaciones que caracterizan el desarrollo histórico concreto de las ciencias construidas por el hombre. En cambio, durante el siglo pasado no se establecía ninguna distinción entre el modelo científico y la realidad; no se tomaba en consideración la dialéctica interna de las teorías, su continuo proceso de modificación autocrítica, profundización de los propios principios; en una palabra, se confundía el conocimiento científico real con el conocimiento metafísico ilusorio.

2. Ya el desarrollo del pensamiento griego había demostrado —con la formación de la filosofía platónica y su influencia sobre amplios estratos de investigadores (sobre el mismo Euclides, por lo menos dentro de ciertos límites, según lo vimos en el capítulo tercero)— la existencia en la mente humana de una irresistible tendencia a revestir de carácter absoluto las proposiciones científicas, el cual es, en verdad, totalmente ajeno al desarrollo de nuestras investigaciones efectivas.

Pero los griegos se habían limitado a intentar este revestimiento en una sola rama de la ciencia propiamente dicha (es decir, de la ciencia distinta de la filosofía); en otras palabras, en la rama matemática, única que en la antigüedad había logrado un nivel seria-

mente riguroso. Tentativas semejantes —ya en la época moderna— no demoraron en manifestarse también respecto de las demás ciencias, en cuanto éstas alcanzaron una madurez semejante. Esta tendencia constituye, a mi entender, un gravísimo peligro para el pensamiento humano, tanto más amenazador cuanto que parece irresistiblemente vinculado con cierto grado de desarrollo de la ciencia. Es decir: en cuanto ésta adquiere conciencia de su propia autonomía frente a la metafísica, parece sin embargo fatal que tienda a atribuirse esos mismos caracteres que antes se atribuían únicamente a las construcciones metafísicas. Es como si se temiera confesar su carácter de técnica en continuo desarrollo, de complejo teórico-experimental determinado por su misma historia de verdad esencialmente humana, relativa y siempre retocable. Surge así un resultado híbrido que no es ni ciencia ni metafísica, sino una infeliz combinación de ambas.

Este peligro hizo sentir toda su gravitación especialmente en el siglo XIX; más entonces que en los siglos anteriores y, también, más que en la época actual. Podría encontrarse, ante todo, en las llamadas "filosofías de la naturaleza" de tipo idealista (Schelling, Hegel, etcétera); pero para quienes se ocupan como nosotros del pensamiento científico cabal y verdadero, esta confusión entre ciencia y metafísica, revelada por las vagas e imprecisas filosofías de la naturaleza, es un hecho de escasa importancia. Nuestro interés debe dirigirse a las concepciones de los científicos o de los filósofos-científicos que pretendieron expresar, en esa misma época, el máximo rigor científico. Ahora bien, es un hecho incontrastable que también estas concepciones —precisamente las llamadas "positivistas"— aparecen profundamente teñidas de metafísica, no obstante su aparente polémica antimetafísica. Para convencerse de ello baste recordar los dos caracteres netamente metafísicos que los positivistas intentaron introducir en la ciencia: el carácter absoluto y la universalidad de las proposiciones.

En cuanto al primero de ellos, ya dijimos que la tentativa de interpretar la ciencia en sentido absoluto guarda relación con la fallida distinción entre principio científico y principio metafísico, entre función reguladora del primero y pretendida función productiva del segundo (como es sabido, según la filosofía tradicional, el principio metafísico sería el sustrato de donde surge la realidad).

En cuanto al segundo, es decir, a la universalidad de las proposiciones, la tentativa de introducir en la ciencia la universalidad de la metafísica sólo pudo nacer de un equívoco, es decir, de la confusión entre universalidad y generalidad. En otras palabras: se trata de atribuir a las proposiciones científicas una generalidad siempre mayor, con la esperanza de que, en el límite, esa generalidad se trasformara en la antigua universalidad de los metafísicos.

En verdad, empero, cuanto más se generalizaba una ley, tanto más se estaba obligado a renunciar a la exactitud de su significado; en mayor medida se debía acudir a la analogía en su demostración. O sea: más se alejaba de lo efectivamente verificable y más se perdía, por lo tanto, el contacto con la búsqueda viva del laboratorio, con los problemas concretos que habían constituido la verdadera fuerza y la máxima fuente de satisfacción para los iniciadores del pensamiento científico moderno.

En lugar de continuar la humanización de la ciencia —humanización iniciada en el siglo XVII—, la mentalidad positivista trató de hacer revivir en la ciencia, casi sin modificación, las mismas exigencias en cuya virtud los antiguos pensadores habían creado la metafísica. Temióse, casi, vincular la ciencia con la realidad del hombre concreto, que esforzadamente la elabora y gradualmente la desarrolla y perfecciona; prefirióse hacer de ella un mito, sin advertir que los defectos de la antigua metafísica se vinculaban precisamente con esta forma mitológica de sus concepciones, no con el contenido particular de los distintos mitos.

3. Llegado a este punto, preveo una ob-

jeción. ¿Cómo puedo acusar de tendencia metafísica a la filosofía positivista, si ésta realizó el máximo esfuerzo para deparar el propio lenguaje de algunos de los más antiguos y equívocos términos metafísicos como, por ejemplo, el de causa?

La respuesta no es difícil. Efectivamente, el concepto de causa fue eliminado por Comte, pero en su lugar fue introducido el concepto de ley, entendido en sentido tan escasamente crítico que, bajo su bandera, se colocaron casi todos los equívocos que la metafísica había legado a la noción de causalidad.

Uno de los aspectos más incomprensibles de la causalidad era el carácter necesario del vínculo que afirmaba. Y bien: ¡este carácter reaparece indéntico en el concepto positivista de ley! Se recuerda la crítica de David Hume a la noción tradicional de causa, pero no se advierte que la necesidad de la ley es tan injustificable como la de la relación causal.

Otro punto débil de la antigua concepcción metafísica de causa era la carencia de una escrupulosa precisión de su significado. Los positivistas son claros, sin duda, al denunciar el carácter equívoco del término, por ejemplo, al aclarar la diferencia existente entre el sentido con que puede hablarse de causa en la relación entre un fenómeno y otro, y el sentido con que se habla de "causa primera" del mundo; pero no advierten que el mismo carácter plurívoco puede encontrarse de nuevo en el concepto de ley, si se lo emplea como concepto general. En una palabra: no tienen la valentía de dar el salto completo, refiriendo el concepto de ley a los procesos operativos, únicos que pueden darle sentido preciso (procesos operativos que resultan, con todo, distintos de un tipo de ley a otro, y que aclaran, con esa diversidad, lo infundado que resulta cualquier tentativa grosera de unificación).

Y así vuelven, encuadrados en el concepto de ley en vez de estarlo en el de causa, los mismos problemas muy generales debatidos inútilmente por los metafísicos durante un milenio: ¿determinismo o indeterminismo?, ¿mecanismo o vitalismo?, etcétera. No pretendo sostener que tales preguntas carezcan de significado científico; sólo quiero subrayar que no pueden tenerlo mientras se mantengan en lo vago y en lo genérico. En otros términos, para pasar del nivel metafísico al nivel científico no basta sustituir la palabra "causa" por la palabra "ley"; es necesario precisar el sentido de los términos, delimitar el ámbito de la pregunta, vinculándola directamente con determinados medios de verificación. Si—digamos— se quiere discutir el valor del mecanismo, es necesario dar, ante todo, una definición clara de éste, por ejemplo, la siguiente: "Es mecanicista toda teoría que reduzca la explicación de los procesos naturales a modelos mecanismos." Pero en seguida surge la pregunta: ¿en qué sentido entendemos el término "mecánicos"? ¿Es "mecánica" solamente la teoría newtoniana de las fuerzas de la gravedad o son "mecánicas" todas las teorías que expresan sus leyes mediante cualesquiera ecuaciones diferenciales? Hoy podríamos precisar: ¿"son mecánicas" también las llamadas mecánicas modernas: la mecánica cuántica, la relativista, etcétera? Pues, ¿de dónde resultaría la superioridad de una respecto de las otras? ¿No se oculta aquí cierto peligro de que la palabra "mecanicismo" no tienda sino a enmascarar el reconocimiento de un mayor valor racional de los conceptos científicos más antiguos (como los de masa, fuerza, movimiento) respecto de los más modernos (carga eléctrica, probabilidad, entropía, etcétera)? Sin sostener que ocurra siempre así, es necesario reconocer con franqueza que el peligro de equívocos de este tipo está muy difundido; y debe combatírselo con la mayor energía, pues constituye una rémora implícita para la renovación de las teorías científicas, es decir, para el libre desarrollo de la investigación.

4. Los positivistas acostumbraban a hablar a cada rato de leyes naturales, de experiencia, de ciencia. Pero es fácil convencerse de que trataban todos estos conceptos con escaso espíritu crítico. Ya lo hemos comprobado respecto del concepto de "ley"; ahora observa-

remos que un carácter de generalidad aún mayor se encuentra en el concepto positivista de "experiencia" o de "hechos empíricos".

No vamos nosotros a negar la importancia del factor "experiencia" en los procesos cognoscitivos, pero es evidente que este factor se determina de una manera distinta en los diversos campos de investigación (por ejemplo, en la física, en la psicología, en la sociología). Pretender insertar estas maneras en una sola categoría es, pues, una pretensión equívoca que expresa la incapacidad de captar las diferencias existentes entre los métodos de verificación utilizados en un campo de investigación y los utilizados en otro, el distinto grado de intersubjetividad, y así sucesivamente.

Ya Galileo había comprendido muy claramente la importancia de saber provocar los fenómenos, saber variarlos, saber "leerlos" de una manera en lugar de otra (es decir, insertándolos en un lenguaje con preferencia a otro; por ejemplo, en un lenguaje puramente cualitativo o en uno esencialmente cuantitativo), saber rectificar, con instrumentos más o menos complicados (digamos, con el anteojo), las impresiones inmediatas de los sentidos, etcétera. Ante esta rica ramificación de la búsqueda concreta en el laboratorio, ¿con qué derecho se pretenderá atribuir a todos los hechos un modo igual de existencia y considerarlos indiscriminadamente como realidades últimas, absolutas, intangibles? Sin embargo, la actitud de los positivistas ante los "hechos" giraba precisamente alrededor de esta intangibilidad. No era la actitud del operario que se acerca al trozo de madera o de metal para trabajarlo, plasmarlo, transformarlo; sino la del salvaje que se inclina para adorar.

"El hecho tiene realidad de por sí —escribe por ejemplo Roberto Ardigó—. Una realidad inalterable, una realidad que estamos obligados a aceptar, tal cual está dada, tal cual la encontramos: es absoluta la imposibilidad de añadirle o de quitarle nada. Por lo tanto, el hecho es divino." Leyendo estas palabras ocurre espontáneamente pensar que Ardigó se veía en la obligación de acudir a los atributos tradicionales (de "absoluto", "divino", etcétera) justamente porque no sabía desprenderse del carácter abstracto de la filosofía de peor tradición. En una palabra: "hablaba" de experiencia, pero no se sumergía concretamente en ella; "hablaba" de investigaciones científicas fundadas sobre hechos, pero él mismo no realizaba ninguna efectiva investigación de laboratorio.

Por lo demás, el propio concepto de ciencia era, entre los positivistas, algo enormemente impreciso, Exaltaban continuamente la superioridad del conocimiento científico sobre todos los demás tipos de conocimiento, pero no se planteaban la pregunta: ¿qué distingue al uno del otro?

En este sentido su dogmatismo resultaba particularmente nocivo, pues en esos mismos años se estaban afirmando precisamente otras muchas disciplinas o subdisciplinas nuevas, que aspiraban al nombre de ciencias (desde la termología al electromagnetismo, desde la estadística a la psicología experimental, para no mencionar la filología, la lingüística, etcétera). ¿Debíase o no concederles el derecho que reclamaban? Por otra parte, el desarrollo siempre creciente de la industria favorecía la formación de nuevas ramas de ciencias aplicadas y, por lo tanto, era urgente decidir hasta dónde esas investigaciones prácticas debían o no considerarse, también ellas, seriamente científicas. No sólo eso: la propia relación entre la ciencia del físico y la técnica del ingeniero revelaba una complejidad cada vez mayor. En efecto, por un lado era evidente la dependencia de la técnica del ingeniero respecto de los descubrimientos científicos, pero, por el otro, no podía negarse que, a menudo, los descubrimientos científicos aparecían precisamente condicionados en forma íntima por los progresos técnicos. ¿Qué significado debía atribuirse entonces a la palabra "ciencia", caracterizada en tal situación por un desarrollo tan tumultuoso y caótico? ¿Con qué derecho los positivistas pretendían hacer palanca sobre un término tan equívoco como "ciencia", para hallar finalmente una solución única y definitiva a las

viejas e intrincadas discusiones de los filósofos?

5. Las relaciones entre las distintas ciencias fue uno de los problemas más discutidos durante el período positivista. Las tentativas para lograr una solución están representadas por los muy conocidos esquemas de clasificación de las ciencias.

La primera y más célebre de esas clasificaciones es la de Comte. Se fundaba sobre criterios teóricos e históricos. En efecto, disponía las ciencias en un orden que iba de las ciencias más simples (la matemática) a las que eran cada vez más complejas, orden que, confirmado —así por lo menos consideraba Comte— por la correspondiente fecha de nacimiento, debía ser posterior el descubrimiento de las ciencias que, por tener un objeto más complicado, estaban obligadas a utilizar en su desarrollo los resultados de las ciencias más simples.

Sobre el fundamento de estos criterios, Comte imaginaba la disposición de las seis ciencias fundamentales en el siguiente orden jerárquico: 1) matemática, dedicada a estudiar el más elemental de los factores que constituyen el mundo: la cantidad; 2) astronomía, que a la cantidad agrega el movimiento; 3) física, que a los factores anteriores agrega las propiedades mecánicas, térmicas, luminosas, eléctricas, etcétera, de los cuerpos y que estudia los fenómenos que no alteran la naturaleza de las sustancias; 4) química, que estudia en cambio, estas alteraciones de la sustancia; 5) biología, que considera como objeto propio de investigación los seres vivos, que añaden una organización a la materia bruta; 6) sociología, que considera las relaciones entre los seres vivientes, y que por lo tanto comprende la economía, la moral, el derecho y, sobre todo, el estudio de las leyes que regulan el curso de la historia.

Algunos méritos de la clasificación que acaba de mencionarse son evidentes: la unidad entre las distintas ciencias que, aun dentro de la diferencia de los objetos relativos a cada investigación, terminan —según Comte— por formar un único árbol indivisible; la sencillez de las relaciones entre un eslabón y otro de la gran cadena; el claro reconocimiento del valor de cada descubrimiento, que resulta del hecho de que éste constituye el instrumento indispensable en las investigaciones sucesivas ("los resultados científicos de una ciencia se trasforman en los recursos lógicos de otra"), etcétera. No obstante, no es posible ocultar la peligrosa abstracción del esquema y su carácter irreconciliable con el verdadero desarrollo del pensamiento científico. ¿Quién nos garantiza que las ciencias fundamentales sean verdaderamente esas seis que considera Comte y no otras? Por ejemplo, ¿por qué la astronomía ha de ser más básica que la mecánica y no ésta más que aquélla? ¿Dónde deberán insertarse las nuevas disciplinas que, por todas partes, apremian para obtener el título de ciencias? ¿Cómo deberá justificarse la influencia ejercida —y tan a menudo observada— por las ciencias superiores sobre las llamadas inferiores?

El problema de la clasificación de las ciencias preocupó, después de Comte, a los más autorizados representantes del positivismo del siglo anterior (Spencer, Mill). Sin embargo, toda tentativa por encontrar una solución definitiva se reveló prácticamente inadecuada y de ahí que los mejores y más modernos estudiosos tiendan hoy a reconocer que ese problema estaba mal planteado. En efecto: adoptaba la forma de un problema de relaciones entre los resultados de las distintas ciencias, mientras que debió limitarse a estudiar las relaciones entre los lenguajes científicos y las técnicas de investigación. El vicio original radicado en su base era la pretensión inconfesada de aplicar al pensamiento científico una categoría característica de la vieja metafísica: la sistematización absoluta, la absoluta coherencia lógica de las investigaciones. En cambio, la historia humana, en su carácter concreto, demuestra que el pensamiento científico se ramifica en nuevas formas relacionadas con innumerables circunstancias, de hecho no previsibles ni sintentizables en una única fórmula *a priori*. La pretensión de descubrir una clasi-

ficación de todas las ciencias, sin advertirlo, tendía a detener aquel desarrollo y a circunscribirlo entre límites preconcebidos, y de ahí su fracaso, de ahí la imposibilidad de dar con una solución que no fuera irremediablemente dogmática.

6. Si el positivismo del siglo XIX fracasó completamente en su objetivo, logró sin embargo aclarar la importancia, filosófica también, del pensamiento científico. En efecto: demostró que toda filosofía seria debe reflexionar muy escrupulosamente sobre la estructura de las efectivas investigaciones científicas, pues no tendría sentido discutir en general el problema de nuestra capacidad cognoscitiva, sin previo examen crítico preciso de todo cuanto la humanidad logró alcanzar concretamente en el desarrollo de la ciencia.

Sin duda, la realización de este examen crítico exigía el empleo de nuevos caminos, que el viejo positivismo, irremediablemente dogmático, no había sabido emprender. Sin embargo, alguna mención de estos nuevos caminos pueden ya encontrarse en el propio siglo XIX, no tanto en las discusiones generales de los filósofos (positivos o no) cuanto en las particulares de los científicos. Estos, en verdad, se vieron obligados, por las mismas exigencias de su labor técnica, a revisar el fundamento y el valor de las propias teorías (matemáticas, físicas, biológicas), así como el significado de los conceptos de ley, ciencia, y hasta de demostración. Fue precisamente esta revisión, con sus enormes desarrollos, la que dirigió el pensamiento científico hacia su íntima conciencia plena, que constituye hoy su mayor mérito y su característica más destacada.

CAPÍTULO IX

LA NUEVA METODOLOGÍA

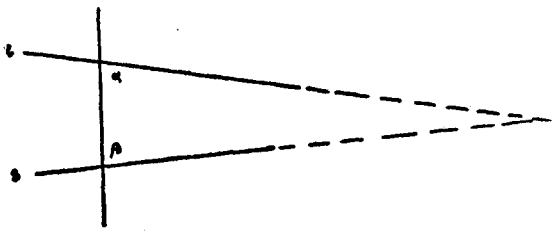
1. En los primeros capítulos tratamos de explicar el proceso a través del cual se formó, entre los antiguos griegos, el lenguaje exacto de la matemática (que logró un grado de particular perfección en los *Elementos* de Euclides). Y tratamos de aclarar cómo en esa formación se superpusieron dos influencias distintas: la de la crítica sofística y la de Platón. O sea: mientras la primera tendía a presentar la matemática como una técnica particularmente eficaz en la investigación de un determinado grupo de nociones, la segunda tendía en cambio a interpretarla como un saber absoluto.

Durante casi dos milenios prevaleció la influencia de Platón, y la matemática —sobre todo la geometría elemental— fue considerada como ejemplo típico de una ciencia racional perfecta. Es cierto que no todos sus axiomas parecían demostrar la misma evidencia, pero existía la convicción de que aun el más discutible de ellos (es decir, el quinto postulado de Euclides) habría podido reducirse a una verdad más segura.

¿Qué afirma este postulado? "Si dos rectas cortadas por una transversal forman ángulos conjugados no suplementarios (en la figura los ángulos α y β) ambas rectas se cortan en el semiplano respecto de la transversal que contiene los ángulos conjugados cuya suma es inferior a 180° (o menor de dos rectas)." (Traducido por Enriques Amaldi.)

Si, en cambio, la suma de $\alpha + \beta$ es 180°, las dos rectas serán paralelas. Como inmediatamente se deduce de él que por un punto exterior de una recta r pasa una

—y una sola— paralela a *r*, es costumbre llamar a este postulado el "postulado de las paralelas". Su escasa evidencia depende del hecho de que si se varía la figura de modo que la suma $\alpha + \beta$ se acerque cada vez más a los 180°, sin dejar por eso de ser inferior, el punto de intersección de las dos rectas se alejará cada vez más de la transversal y ninguna verificación experimental



podrá garantizar su existencia. Ahora bien, ¿qué ocurriría en el edificio tan coherente de la geometría de Euclides si se admitiera la posibilidad de que tal intersección no existe antes de que aquella suma alcance los 180°? Se demuestra, sin dificultad, en tal supuesto, que muchos teoremas, entre los más conocidos de la geometría elemental, resultarían falsos, y que capítulos íntegros de esa ciencia (por ejemplo, el de la semejanza) desaparecerían.

Desde comienzos del siglo XIX la misma gravedad de estas consecuencias había convencido a la generalidad de los estudiosos que no era científicamente lícito abrigar serias dudas respecto de la validez del postulado. Sin embargo, nadie había logrado demostrar que debería admitírsela efectivamente (es decir, que la falta de aceptación habría conducido a una verdadera contradicción lógica). Ahora bien, hacia 1830, tres matemáticos (Nicolás Ivanovich Lobachevski, Janos Bolyai y Carl Friedrich Gauss), independientemente entre sí, expresaron una idea totalmente nueva: la idea de que no ocurriría nada absurdo si se negara el tal postulado (sustituyéndolo por un postulado distinto). Claro está que surgiría una geometría distinta de la euclidiana, pero no menos coherente y precisa que la antigua y enriquecida también con varios teoremas interesantes.

No podemos detenernos sobre el desarrollo de las dos geometrías (elíptica e hiperbólica) que surgieron de la audaz innovación mencionada. Pero debemos destacar el giro decisivo que este descubrimiento imprimió al curso del pensamiento matemático. Señaló el comienzo del abandono progresivo del punto de vista platónico, abandono que significó el descenso de las teorías matemáticas desde la condición jerárquica de verdades absolutas a la de construcciones hipotético-deductivas.

Mientras prevaleció la convicción de que las teorías matemáticas representaban verdades absolutas, se había evidentemente alimentado la fe en que, por lo menos, esta ciencia proporcionaba proposiciones universalmente verdaderas (por ejemplo, que en cualquier espacio quedaban satisfechos los célebres teoremas de Pitágoras, Euclides, etcétera); y no se había sentido tampoco la necesidad de reflexionar con excesivo rigor acerca de las relaciones y de la diferencia entre intuición espacial y coherencia lógica.

Pero en cuanto se descubrió la posibilidad lógica de nuevas geometrías (y pocas décadas después de 1830 se demostró que éstas no podían conducir a contradicción alguna, salvo que fuese contradictoria la propia geometría euclidiana) toda la perspectiva debió cambiarse radicalmente. Hubo que volver a examinar a fondo la exactitud de los procedimientos empleados en cada una de ellas y, sobre todo, fue preciso comprender que no tenía sentido hablar de un "teorema verdadero por sí mismo". Todo teorema es verdadero, exclusivamente, dentro de los límites de una teoría, en la medida que pueda deducirse de sus postulados. La aceptación de un postulado en lugar de otro no es un hecho lógico, sino una simple convención. El matemático debe interesarse por todas las geometrías posibles, dejando al físico la tarea de utilizar, en los distintos campos de investigación, aquella que resulte más adecuada a los hechos.

De esta manera, la geometría, considerada durante siglos como el ejemplo más perfecto de ciencia universal, se fragmentaba en numerosas ciencias particulares. La mente humana perdía la ilusión de lograr verdades absolutas, y se hallaba, de golpe, en posesión

de distintas técnicas fundadas sobre axiomas incompatibles entre sí, pero que, sin embargo, poseían todas ellas, *a priori*, igual validez.

2. El valor metodológico del descubrimiento que acabamos de mencionar no fue íntegramente comprendido inmediatamente por todos los filósofos y científicos del siglo pasado. Se oponía tan abiertamente a la mentalidad positivista, entonces predominante, que muchos, aun después de la construcción de las geometrías no euclidianas, prefirieron continuar pensando que la "verdadera" geometría era la de Euclides, y que las otras, "en realidad", eran simples y meras ficciones.

Pero la crisis iniciada en los principios de la geometría debía originar muy pronto otros desarrollos, ya en la propia matemática, ya fuera de ella.

En el ámbito de la matemática correspondió al análisis infinitesimal llevar la crisis hasta sus últimos extremos. Como ya tuvimos ocasión de mencionarlo, esta disciplina maravillosa —que se creó en el siglo XVII y que muy pronto demostró su riqueza de aplicaciones a la mecánica, física, etcétera— no había logrado obtener, en la época de su nacimiento, una forma lógica coherente. Todos comprendían el carácter ambiguo de los conceptos de infinito y de infinitésimo sobre los cuales se fundaba; y sólo aceptaban operar con ellos por su enorme fecundidad científica. Pero el desarrollo de la teoría obligó, durante el siglo XIX, a rever los principios y desentrañar los delicados conceptos de límite y de número real, implícitamente contenidos en las operaciones básicas de derivación, integración, etcétera.

La urgencia por definir los números reales aclaró gradualmente las oscuridades que se ocultaban en el concepto de número fraccionario, número relativo y, por último, en el —aparentemente muy elemental— de número entero. ¿Es posible dar una definición exacta de los números 1, 2, 3, 4, 5 . . .?

Gottlob Frege, uno de los más grandes lógico-matemáticos de fines del siglo anterior, después de exponer la incertidumbre de los matemáticos respecto del concepto de unidad, se pregunta: "¿No es una vergüenza para la ciencia el mantener a oscuras un tema que le es tan íntimo y que parece tan simple? No hay que hacerse ilusiones: si no se sabe definir el número uno, menos se sabrá decir qué es un entero, en general. Ahora bien, si un concepto que es fundamento de una ciencia tan grande como la aritmética presenta tantas dificultades, es sin duda un imprescindible deber de nuestra parte hacer todo lo posible para examinarlo con la mayor precisión y resolver la dificultad, tanto más cuanto que resultaría muy difícil explicar con perfecta claridad los números negativos, fraccionarios y complejos, si no se aclara completamente el fundamento mismo de todo el edificio aritmético."

El reconocimiento de la necesidad de tal examen lógico, sin prejuicios, de toda la aritmética puede considerarse como el desarrollo natural de esa "crisis de la evidencia" que unas décadas antes había iniciado en el edificio matemático el descubrimiento de las geometrías no euclidianas. Sus desarrollos, sin embargo, fueron aún más sorprendentes que los ya notables derivados de la crítica del quinto postulado de Euclides.

Con un trabajo admirable por su precisión y rigor, Gottlob Frege (paralelamente al italiano Giuseppe Péano) trató de dar a la aritmética una sistematización lógica completa, capaz de satisfacer las exigencias críticas que él mismo había formulado claramente en el párrafo transcrito. La obra muy complicada que para tal objeto compuso lleva por título *Grundgesetze der Arithmetik* (vol. I, 1893; vol. II, 1903) y fue escrita con símbolos para evitar toda intromisión, en el lenguaje matemático, de nociones oscuras y ambiguas procedentes del lenguaje común.

Pero no había terminado de imprimirse el segundo volumen cuando le llegó al autor una carta muy singular. Su remitente era un joven inglés, estudioso de los problemas lógicos, Bertrand Rusell, y contenía una grave objeción al método empleado por Frege para definir los números enteros. Como lo veremos

en el parágrafo siguiente esta objeción consiste en un raciocinio simple, que demuestra la posibilidad de construir, dentro del muy exacto sistema de la aritmética de Frege, nada menos que una antinomia (es decir, una pregunta que origina una contradicción, cualquiera que sea la respuesta que se dé a aquélla). Fue para Frege un golpe muy fuerte; un golpe que destruía de pronto la paciente labor de toda una vida. Por probidad de investigador, Frege publicó la carta de Russell como apéndice al volumen, con un breve esquema de respuesta, pero desde entonces su producción científica cesó.

El año 1903 (fecha de la publicación del volumen que acabamos de mencionar), señala la iniciación oficial, en la historia de la matemática, de una de las más graves crisis que conoce el pensamiento científico, crisis alrededor de la cual aún bullen no pocas discusiones. Señala el abandono definitivo, por parte de los cultores más serios de la matemática, de toda ilusión dogmática acerca de la propia ciencia, es decir, de toda ilusión de encuadrar su desarrollo real en fáciles esquemas *a priori*, necesarios y universales.

3. El interés de la antinomia de Russell es muy notable también porque presenta indudable analogía formal con algunas paradojas singulares imaginadas en la antigüedad (en particular con la del barbero que hemos expuesto en el capítulo II, § 5). Considero, pues, conveniente detenerme algo sobre ella, aunque esto me obligue, lamentablemente, a emplear ciertos conceptos algo abstractos y de comprensión no inmediata. Quien halle excesiva dificultad en este parágrafo, puede omitir su lectura, sin menoscabo alguno del desarrollo ulterior.

Para definir el número natural Frege parte del concepto de clase (o conjunto, o agregado). A fin de no sutilizar demasiado, podemos limitarnos a entender este concepto en forma intuitiva, es decir (empleando la frase de G. Cantor), "como la reunión de varios objetos —distintos entre sí— del mundo exterior o de nuestro pensamiento". Estos objetos suelen llamarse "elementos del conjunto". Si en tal reunión no hay ningún elemento, decimos que el conjunto es vacío.

¿Es posible, sin tener la menor noción de número, afirmar que dos conjuntos son "equinumerosos" o "equipotentes"? Sí, bastará para ello que pueda verificarse que a cada elemento del primero corresponde uno del segundo y viceversa, y que a elementos distintos corresponden siempre elementos distintos (con un análisis algo sutil —que por brevedad dejamos aquí de lado— podría demostrarse que esta definición no implica en verdad la idea del número uno). Comprobado este hecho, es fácil deducir, por abstracción, el concepto de "potencia de un conjunto cualquiera", como característica común a este conjunto y a todos sus conjuntos equipotentes. Ahora bien, esa potencia —según Frege— será precisamente el "número cardinal" del conjunto.

Para exponer la antinomia de Russell, no es necesario ir más allá en la construcción aritmética de Frege, y nos ahorraremos, pues, el esfuerzo de mencionar, aun someramente, las definiciones precisas con que deduce, del concepto muy general de "número cardinal" que acaba de explicarse, los más específicos de uno, dos tres, etcétera.

La objeción de Russel parte del concepto de "conjunto", del cual puede deducirse, sin dificultad, el concepto más restringido de "conjunto normal". Existen "conjuntos" que no se contienen a sí mismos como elementos; así el conjunto de todos los hombres (este conjunto, en efecto, no es un hombre y, por tanto, no está contenido en el conjunto de todos los hombres). Existen, en cambio, otros "conjuntos", que se contienen a sí mismos como elementos; así el conjunto de todos los conceptos abstractos (en efecto, este conjunto es, a su vez, un concepto abstracto). Para distinguirlos entre sí se denominan "normales" los "conjuntos" del primer tipo (es decir, aquellos que no se contienen a sí mismos como elementos).

Ahora bien, imaginemos reunidos en un "conjunto" N todos —y solos— los "conjuntos" normales, y preguntemos: ¿el "conjunto" N, así formado, es o no es normal? Es decir, se contiene o no se contiene a sí mismo como elemento?

Supongamos que N se contenga a sí mismo como elemento. En tal hipótesis N contendrá también un "conjunto" no normal, por cuanto se contendrá a sí mismo, que no es normal. Pero esto es imposible, porque contraría la definición de N (por cuanto N contiene *solamente* "conjuntos" normales).

Supongamos, por el contrario, que N no se contenga a sí mismo como elemento. De esto se deduce que es un ejemplo de "conjunto" normal y, por tanto, es absurdo que no pertenezca al "conjunto" N (por definición, N contiene *todos* los "conjuntos" normales).

Nos encontramos, pues, frente a una evidente anti-

nomia: nuestra pregunta admite sólo dos respuestas y ambas se han revelado imposibles.

Más recientemente se ha observado (por parte de los lógicos Grellin y Nelson) que la dificultad anterior puede transferirse de la teoría de los "conjuntos" a la teoría de los conceptos, hecho importante que justifica el nombre de *antinomias lógicas* que se confiere a las antimonias de esta clase. Lo explicaremos brevemente.

Así como hemos distinguido dos categorías de "conjuntos", podemos distinguir dos categorías de conceptos: los que expresan una propiedad de que goza el concepto mismo, y los que expresan una propiedad no satisfecha por el concepto. Pertenece, por ejemplo, a la primera categoría, el concepto de abstracto, por cuanto puede afirmarse que también él es abstracto. Pertenece, en cambio, a la segunda categoría el concepto de "rojo", pues no puede afirmarse que el concepto de rojo sea rojo. Para distinguir ambos tipos de conceptos suele decirse que un concepto es "predicable", si pertenece a la primera categoría e "impredicable" si pertenece a la segunda.

Ahora bien, formemos el concepto general de "impredicabilidad" (bastará para ello abstraerlo de los innumerables ejemplos de conceptos impredicables) y preguntemos: ¿este nuevo concepto, así formado, pertenecerá a la primera o a la segunda categoría? Es decir, el concepto de "impredicabilidad", ¿será predicable o impredicable?

Es fácil ver, como antes, que ambas hipótesis conducen a un absurdo. Supongamos que nuestro nuevo concepto sea predicable, es decir, que pertenezca a la primera de las categorías mencionadas. Esto significaría que gozaría de la propiedad expresada por el propio concepto. Pero esto es absurdo, pues tal propiedad es, justamente, la "impredicabilidad", y nosotros, en cambio, supusimos que nuestro concepto era predicable.

Supongamos entonces que nuestro nuevo concepto sea impredicable. Surge nuevamente una contradicción, porque, por hipótesis, goza en este caso de la "impredicabilidad" es decir, de la propiedad que el mismo concepto enuncia. En otras palabras, en la hipótesis de ser impredicable resulta precisamente que es predicable.

¿Cómo salir de esta maraña de contradicciones?

La analogía entre la paradoja anterior y la del barbero es evidente; en ésta como en aquélla, la argumentación se funda sobre el acoplamiento de los dos atributos "todos" y "solos". Con la diferencia de que en el caso del barbero salta a la vista inmediatamente la imposibilidad de adaptar la definición abstracta de "barbero" a la persona concreta que ejerce efectivamente esta función; mientras que en el caso del "conjunto" normal, no pudiendo hacer intervenir ninguna preocupación de adherencia de conceptos abstractos a entes concretos, la base de la antinomia se revela absolutamente intangible.

Para eliminar este "jaque" a la razón —tanto más humillante cuanto aparece precisamente en las propias raíces de la más racional de las disciplinas científicas— Bertrand Russell tuvo que imaginar una *teoría de los tipos*, muy complicada, que altera irremediablemente la tradicional noción de la lógica. Otros acudieron a distintos recursos, quizás más drásticos aún.

Pero el análisis de todos estos recursos, más o menos artificiosos, para resolver tal antinomia, excede nuestro objeto actual. Una sola cosa nos interesa en esta ocasión; adquirir conciencia de que la antigua ilusión de una matemática conexa y coherente, que se desarrolla en un pacífico fluir sin fracturas internas, puede decirse que se halla en su ocaso definitivo.

4. También en el campo de las ciencias experimentales (física, química, biología) se produjo —aunque algo después— una profunda crisis de principios, análoga a la surgida en la matemática. En efecto: a medida que esas ciencias fueron afinando sus medios de observación, resultó cada vez más evidente la imposibilidad de encuadrar los hechos observados en los esquemas conceptuales elaborados por el pensamiento científico anterior. En consecuencia, apareció más evidente que a tales esquemas no era lícito atribuirles aquel valor absoluto que el viejo positivismo, con una confianza demasiado ingenua, les había reconocido.

Veamos, a título de ejemplo, algún análisis crítico muy simple, tomado de la física, como el análisis del concepto de longitud. Es fácil comprobar que el propio sentido de nuestras afirmaciones debe variar completamente cuando —saliendo del campo de las longitudes comunes— hablamos de medidas astronómicas o de medidas ultramicroscópicas.

La afirmación de que una pieza de género es —digamos— de 5 metros tiene un significado táctil evidente, verificable por todos (entre un extremo y otro de la pieza podemos colocar, uno al lado del otro, 5 patrones de madera de un metro cada uno), y, asimismo, para mayores distancias terrestres también se conserva este significado aunque las mediciones se efectúen con instrumentos ópticos (en efecto, siempre es posible una comprobación por lo menos parcial de las medidas ópticas sobre medidas táctiles). Nada de esto resulta en cambio concebible en cuanto se pasa a los dos nuevos campos que antes mencionamos "Al pasar de las distancias terrestres a las grandes distancias estelares —escribe P. V. Bridgman (La logica della fisica moderna, Turín, 1952)— el concepto de longitud cambia completamente de carácter." En efecto, en el caso de las distancias astronómicas "el espacio es totalmente de tipo óptico, y no tenemos posibilidad alguna de confrontar, ni parcialmente, el espacio táctil con el óptico. Jamás se realizaron medidas directas de longitud, ni podemos medir los tres ángulos de un triángulo para controlar nuestra hipótesis de que sea justificado el empleo de la geometría euclidiana al extender el concepto de espacio. No podemos observar más que dos de los ángulos de un triángulo, por ejemplo, cuando medimos la distancia a la Luna observándola desde dos extremos de un diámetro terrestre. Para extender a distancias aún mayores nuestras medidas de longitud, debemos introducir nuevas hipótesis, como la de que sea todavía válida toda consecuencia de las leyes newtonianas de la mecánica". Otro tanto ocurre en el campo ultramicroscópico. "¿Qué significa, por ejemplo, la afirmación de que la distancia entre los dos planos de un determinado cristal es de tres cienmillonésimos de cm? —sigue diciendo Bridgman—. Queremos decir que una tercera parte de trescientos millones de estos planos superpuestos dan un espesor de un cm, pero resulta evidente que no es éste el significado efectivo. El significado efectivo aparecerá si se examinan las operaciones merced a las cuales llegamos al número "tres cienmillonésimos". En verdad, este número se ha obtenido resolviendo una ecuación general deducida de la teoría ondulatoria de la luz, ecuación en que se introdujeron ciertos datos numéricos recabados de experimentos con los rayos X. Por lo tanto, no sólo el carácter del concepto de longitud se transformó de táctil en óptico, sino que, además, nos hemos comprometido en una teoría óptica bien determinada." Las cosas empeoraron más aún, ya se trate de medidas subatómicas —en las que resulta comprendida la teoría de la electricidad—, ya aún más en las medidas de longitudes de cuerpos en movimiento rápido (en que intervienen consideraciones relativistas).

En conclusión; el concepto de longitud es indudablemente "plurívoco" y, por lo tanto, sería un acto peligrosamente dogmático prescindir de esta plurivocidad imposible de eliminar. Como se reproduce una situación análoga con otros conceptos fundamentales de la física (por ejemplo, los de tiempo, fuerza, etc.) se deduce que gran parte de las llamadas leyes generales de la naturaleza —formuladas precisamente con tales conceptos— pierden necesariamente su carácter de proposiciones científicas exactas. Hoy ya no tiene sentido alguno hacer referencia a la generalidad de una ley o de una teoría como prueba de su valor. Este valor sólo puede demostrarse por la capacidad de esa ley o teoría de acrecer el patrimonio de las observaciones que controlamos y de los nuevos fenómenos que provoca.

Como no podemos exponer, por limitación del espacio, los numerosos resultados logrados en física, química, biología, etc. a través de esta crítica de los conceptos demasiados generales, me limitaré al caso del concepto más fundamental de todas las ciencias naturales: el concepto de causalidad.

Ante todo, ha de observarse —siguiendo a Birdgman— que "el concepto causal . . . no es de ninguna manera simple. No tenemos un susuceso simple *A* conexo causalmente con un suceso simple *B*, sino que el concepto incluye, como parte vital del mismo, el trasfondo total

del sistema dentro del cual ocurren los sucesos. Si el sistema, incluyendo su historia pasada, fuese diverso, la naturaleza de la relación entre *A* y *B* podría cambiar totalmente. El concepto de causalidad es, por lo tanto, relativo, en cuanto implica todo el sistema en que ocurren los sucesos".

Esta relatividad se agudizó particularmente con los descubrimientos realizados en el campo subatómico, en relación con la discontinuidad de la energía. Esta discontinuidad significa, en efecto, que la energía consumida por el instrumento de observación (indiquémoslo con *C*) para verificar la relación entre *A* y *B* no puede ser inferior a cierto límite: el átomo de energía cuyo valor depende de la frecuencia del rayo de energía empleada. Por lo tanto, si el intercambio energético entre *A* y *B* es, también él, del orden de magnitud del átomo mencionado, la pura y simple emisión de la energía consumida por *C* hará variar de manera nada desdeñable la "historia del sistema" y, con ella, la "naturaleza de la relación entre *A* y *B*". Y como un instrumento no puede medir la energía que él mismo emite, resultará, en particular, que no podrá determinarse la variación que *C* produce sobre la relación entre *A* y *B* y, por lo tanto, perderá valor cualquier raciocinio sobre esta relación como algo científicamente universal y objetivo.

Admitido esto, no cabe duda de que la "relación causal", dotada de sentido científico, no podrá confundirse con la categoría de la causalidad, grata a los filósofos. Ésta, en efecto, pretendía expresar un único tipo de relación, válido para todos los seres; aquélla, en cambio, expresa tantos tipos bien determinados de relaciones cuantos sugiera la infinitamente rica variedad de las situaciones reales.

La aparente capacidad de las viejas categorías para aplicarse a casos muy diversos sólo depende de su extremado carácter genérico y de su efectiva falta de idoneidad para intraducir el carácter concreto de los hechos en el razonamiento científico.

Mientras la vieja filosofía había abrigado la ilusión de poder integrar la ciencia introduciendo en ella conceptos y principios cada vez más generales, la conciencia hoy en día alcanzada respecto del valor efectivo de los conceptos y de los principios ha conducido a conclusiones claramente opuestas. En efecto: ha demostrado la necesidad de excluir de las teorías científicas todos los conceptos y principios genéricos, y por eso mismo equívocos, dejando en ella sólo expresiones exactamente circunscritas, capaces de expresar problemas dotados de sentido, que reflejen todas las particularidades estructurales de las situaciones fenoménicas concretas.

La llamada crisis de la ciencia ha sido, sobre todo, una crisis de la vieja concepción filosófica de la ciencia. Para decirlo con imágenes, fue una crisis de desarrollo, a través de la cual la ciencia ha tirado por la borda el acervo, ya embarazoso, de las viejas nociones de origen metafísico, para asumir mayor funcionalidad, para adecuarse siempre mejor a los nuevos y más delicados problemas de índole lógica y experimental que enfrentaba.

5. La nueva filosofía científica o metodológica que surgió de la actitud crítica descrita en los parágrafos anteriores no conservó —de la vieja herencia positivista— sino el programa de la lucha contra la metafísica. Pero el significado de esta lucha es completamente distinto.

Ya no se trata de eliminar los principios generales de la metafísica para sustituirlos con principios no menos generales tomados de la ciencia, sino de combatirlos por el carácter equívoco y de imprecisión ligado a su pretendida generalidad. Se trata de demostrar que la insolubilidad de los más antiguos y respetables problemas filosóficos no depende de las dificultades de su contenido, sino de su mal planteamiento y, por ende, de su falta de sentido; se trata, pues, de sustraerles su antiguo hechizo, de denunciar el enorme daño que acarrearon a la filosofía y a las ciencias y de librar para siempre a la mente humana de su peso insoportable.

Así interpretada la lucha contra la metafísica se convierte en una lucha contra todo

lo que pretenda poseer los caracteres de absoluto que los antiguos filósofos atribuían a la metafísica. Es, por lo tanto, una lucha que apunta no a sustituir una metafísica por otra, o a sustituir la metafísica por una ciencia más o menos absoluta, sino a liberar la razón humana del mito mismo de lo absoluto (y, por ende, también de lo absoluto en la ciencia).

El instrumento con que los metodólogos más modernos libraron esta lucha consistió, sobre todo, en el análisis preciso y muy riguroso del lenguaje empleado para expresar los diversos problemas. En un principio este análisis reveló su eficacia en la crítica del lenguaje matemático, físico, etcétera; luego se extendió a las propias cuestiones filosóficas, y no admitió que éstas se desarrollaran en una esfera propia superior, inaccesible a las exigencias generales de la razón.

No sería sincero afirmar que la crítica así planteada haya tenido siempre fácil y pacífico trámite. En efecto, podemos advertir un contraste innegable entre las dos instancias (lógico-matemática y experimental) presentes ambas en dicha crítica: la primera tiende a hacer prevalecer el análisis de los axiomas de las reglas de deducción, de las tautologías, etcétera; la segunda, en cambio, trata de hallar en la referencia empírica el único criterio para separar lo que tiene sentido de lo que no lo tiene. En el propio seno de la dirección metodológica han surgido dos puntos de vista que si bien por un lado se integran mutuamente, por el otro se combaten, esforzándose cada cual por imponer su propia superioridad.

Sin entrar en los detalles de este conflicto —a veces abierto, a veces latente— debe con todo reconocerse que de ningún modo ha enervado o enerva la fuerza de la crítica antimetafísica; antes bien, a menudo logró aumentar su vivacidad. Verdaderamente, la propia aceptación de un método único para el análisis de las proposiciones cognoscitivas (es decir, para la formación exacta de aquellas que tienen sentido y la condena de las mal formuladas) sería un acto veladamente metafísico. En efecto, equivaldría a atribuir a ese método una eficacia universal y absoluta, en abierta contradicción con el programa crítico a que aspira. Quien desee mantenerse fiel a tal programa no podrá considerar como defecto la multiplicidad de los métodos de análisis crítico; lo importante para él será que cada uno sirva realmente para aclarar la estructura de los procesos cognoscitivos, para conformar una humanidad más consciente y, por lo tanto, más dueña de las teorías científicas y de sus aplicaciones.

6. Considero que he aclarado suficientemente los caracteres fundamentales de las exigencias críticas que acaban de ponerse de manifiesto. Son caracteres que las vinculan a toda la tradición más viva de las investigaciones matemáticas y naturales, es decir, de aquellas tendencias que con mayor intensidad se esforzaron en todas las etapas del pensamiento científico por acercar la verdad al hombre, por hacer de la ciencia algo esencialmente nuestro.

Según lo hemos visto, se desarrolló primero en el interior de cada disciplina particular por el apremio de los problemas cada vez más nuevos y sutiles que hemos ido tratando; luego esas exigencias críticas se incorporaron al programa filosófico general de algunas vastas corrientes de pensamiento, hoy muy difundidas tanto en Europa como en América. Baste recordar las corrientes pragmáticas y convencionalistas originadas a comienzos de este siglo al disolverse la filosofía positivista del siglo XIX (Mach, Poincaré, Vailati, Dewey, etcétera), así como el muy reciente neopositivismo o empirismo lógico (Wittgenstein, Schlick, Carnap, etcétera) que, nacido en Viena hacia 1930, desde hace unos veinte años gravita alrededor de algunos grandes centros de estudios ingleses y estadounidenses (en particular, Oxford y Chicago).

El ropaje filosófico general que estas corrientes impusieron al fermento crítico del pensamiento científico ha terminado a menudo por disfrazar la estructura auténtica de dicho fermento, exagerando algunos caracteres (sobre todo el de la pura convencionalidad) y olvidando y subestimando, en cambio, otros (sobre todo el de la historicidad de las

teorías). De ahí que surgieran reacciones complejas en el interior y fuera del ámbito de la ciencia, que hacen temer, inclusive, que se pierda la mejor parte de los resultados conquistados anteriormente en cuanto se refiere a la conciencia íntima del pensamiento.

Empero, estamos ahora aludiendo involuntariamente a cuestiones demasiado vivas que no pueden encararse seriamente sin interés directo en los más ardientes debates actuales de la filosofía de la ciencia. Y como tales debates son totalmente ajenos al programa que nos hemos propuesto, es mejor detenernos y dejar que el lector —a quien ello interese— reúna por su cuenta las propias informaciones [1].

En las páginas que siguen me limitaré a exponer algunas breves consideraciones personales con respecto a los efectos que la crisis de los métodos y de los principios analizados en el presente capítulo ejerció sobre la lógica. Esto me permitirá exponer lo que hoy es, según entiendo, el núcleo constitutivo de la labor científica.

---

[1] Para profundizar los argumentos aquí esbozados pueden ser particularmente útiles las obras siguientes, donde se encuentra actualizada una exhaustiva bibliografía:

L. GEYMONAT, *Studi per un nuovo razionalismo*, Turín, Chiantore, 1945; L. GEYMONAT, *Saggi di filosofia neo-razionalistica*, Turín, Einaudi, 1953; N. ABBAGNANO, y otros, *Fondamenti logici della scienza*, Turín, De Silva, 1947; N. ABBAGNANO, y otros, *Saggi di critica delle scienze*, Turín, De Silva 1950; F. BARONE, *Il neo-positivismo logico*, Edizioni Filisofia, Turín, 1953.

CONCLUSION

1. A través del examen de algunas etapas particularmente significativas del desarrollo del pensamiento científico hemos tratado de darnos cuenta de los caracteres más notables que lo distinguen, ya del pensamiento común, ya del pensamiento metafísico.

Hemos seguido los esfuerzos que realizó para superar las paradojas y equívocos del raciocinio espontáneo, formando varios tipos controlados de lenguajes, primero el matemático, luego los dirigidos a tratar las nociones de orden experimental. Subrayamos en cada etapa realmente viva del pensamiento científico la existencia de varios conflictos; por ejemplo, entre la instancia de conservación de los resultados obtenidos en las etapas anteriores y la instancia de renovación de los métodos y problemas; o el conflicto más profundo entre la jactanciosa confianza en la razón humana y el temor de que esta confianza constituyese un acto irremediablemente dogmático. Hemos analizado finalmente el nuevo tipo de exigencia crítica que se ha afirmado en las últimas décadas dentro del mismo ámbito de las ciencias particulares, el cual se presenta o bien como necesidad de una delimitación cada vez mayor del significado operativo de los conceptos, o bien como necesidad de una formulación cada vez más precisa de los principios científicos y, sobre todo, como diferenciación de estos últimos ante los principios a que suele acudir la especulación metafísica.

Nos proponemos agregar ahora algunas palabras respecto de esta diferenciación, porque nos parece el camino más adecuado para descubrir la estructura íntima, el significado y el valor del pensamiento científico.

Si se quisiera caracterizar con dos atributos antitéticos la actitud del metafísico y la del científico, considero que podríamos emplear las palabras "pasiva" y "activa".

¿En qué sentido la actitud del metafísico puede llamarse pasiva? En éste: el objetivo final del metafísico es el de colocar la mente humana en las mejores condiciones para "ver" la realidad, es decir, para aprehender en su pureza cuanto existe, no para alterarlo o perfeccionarlo. Para el metafísico platónico se trata de captar los principios universales del ser; en cambio, para el metafísico positivista se trata de captar los datos de las sensaciones. Pero lo uno y lo otro se

interpretan como algo intangible, absoluto, ante lo cual sólo resta inclinarse respetuosamente.

También el metafísico subjetivista comparte esa actitud, no obstante la apariencia contraria. Para él, la verdadera realidad es el sujeto universal, indudablemente más próximo a la mente humana que el antiguo ser trascendente, aunque también provisto de carácter absoluto; ante ese sujeto, nuestro deber supremo será el de comprender las leyes, captar la naturaleza profunda de su devenir, realizarlo lo más posible en nosotros; por lo tanto, adecuar también en este caso nuestro ser contingente al ser universal, que asume para sí la plenitud de la realidad. Actitud sustancialmente pasiva, pues, dirigida a captar aquello que "es en sí", aquello que, por su modo de ser, pueda garantizar el carácter absoluto de nuestros conocimientos.

La actitud del científico, por el contrario, es estructuralmente activa. El pensamiento científico no capta "algo que ya está", sino que construye, trasforma, descompone y recompone, siempre convencido de que su construcción puede ser ulteriormente modificada, ampliada, corregida. Trabaja sobre lo provisional. Construye teorías matemáticas y físicas, pero siempre con la reserva de perfeccionarlas, extenderlas, reinterpretarlas. Se dirige a la experiencia, pero sin conformarse jamás con lo que ella da espontáneamente; sabe que debe elaborar con inteligencia la pregunta para lograr de la experiencia una respuesta aceptable; y sabe que esta respuesta, aun siendo interesante, jamás excluirá una interrogación ulterior más precisa, dirigida a profundizar el sentido de la precedente.

Para el pensamiento científico ni el mundo exterior ni nuestra misma racionalidad constituyen algo "divino", "intocable". Todo puede y debe trasformarse por obra del hombre. Se interviene en el desarrollo de los fenómenos para corregirlos a nuestro favor; se interviene sobre nuestros mismos métodos de obrar sobre los fenómenos para lograr una acción más eficaz. En otras palabras —siguiendo la célebre glosa de Marx a Feuerbach— no nos limitamos a "interpretar el mundo"; se obra para "modificarlo".

Comprender la estructura del pensamiento científico significa comprender esta contraposición total entre ciencia y metafísica; significa comprender que el trabajo del científico consiste en una perenne construcción de técnicas y no en la enunciación de "verdades absolutas".

En el presente libro hemos tratado de aclarar esta profunda estructura del pensamiento científico, que aparece, inclusive, cuando los científicos no lograban percatarse aún de la diferencia entre su propia tarea y la que los metafísicos pretendían imponer a la humanidad.

La confusión entre ambas tareas ha sido la causa principal de los obstáculos que en las épocas más diversas frenaron el desarrollo de las ciencias. La misma dificultad —tantas veces señalada por los filósofos— de "justificar" el valor de la ciencia depende en última instancia exclusivamente de la pretensión de encontrar una justificación no científica, sino metafísica. En el plano científico, la ciencia se justifica por sí misma; es una actividad que se revela capaz de éxitos cada vez mayores, y nuestra tarea de "científicos" sólo puede ser la de mejorarla, tornarla más eficiente, y no la de buscar una justificación "absoluta" de su valor. Nos ofrece una prueba patente de ello esta misma exigencia crítica (o metodológica)

desarrollada en estos últimos decenios dentro de las ciencias particulares. Basta una rápida visión de sus argumentaciones para comprender que de ninguna manera pueda confundirse con la pretensión metafísica de "justificar la ciencia". El metodólogo moderno desea, en efecto, saber qué es la ciencia, no para condenarla o absolverla frente al tribunal supremo de las verdades absolutas sino, simplemente, para liberarla de conceptos equívocos y de problemas mal planteados, para poder construir teorías más coherentes, para ser más "dueño" de las teorías construidas.

2. Si el pensamiento científico es el conjunto de actividades que acaban de describirse, ¿cómo podrán ser sus relaciones con la racionalidad?

Nuevamente resulta necesario distinguir dos sentidos en la palabra "racionalidad". Si se la entiende, como lo querrían los metafísicos, como facultad de captar la "verdad absoluta", entonces evidentemente nada tiene que ver con la labor del científico. Pero si se la entiende como actitud dirigida a construir raciocinios coherentes y a establecer, por lo tanto, sistemas de proposiciones formuladas exactamente, cuyas relaciones recíprocas y cuyas relaciones con los datos empíricos el hombre sea capaz de controlar en todos los casos, entonces ella constituirá la armazón fundamental de la ciencia.

Pero la racionalidad en este último sentido se muestra no como una actividad que se enreda en esquemas fijos, sino como una actividad que fluye entre métodos siempre nuevos de demostración, tantos cuantos sean, precisamente, los métodos que poco a poco vaya ideando el pensamiento científico.

Hoy, después de haber aplicado a todas las ramas de la geometría y de la aritmética su conocida crítica de la evidencia (iniciada como lo hemos recordado en el cap. IX, § 1, con el descubrimiento de las geometrías no euclidianas), los lógicos matemáticos han llegado a extender ese mismo análisis disgregante también a la lógica clásica. Sostienen, por ejemplo, que los mismos principios fundamentales de la lógica son, exclusivamente, "reglas sintácticas", de modo que ningún motivo absoluto impediría su modificación, como nada impide sustituir un postulado geométrico por otro. En especial hablan de lógica de tres valores en lugar de dos (los dos valores de la lógica clásica son "verdadero" y "falso"; los tres de la nueva lógica serían "verdadero", "falso" e "indeterminado"); y a veces introducen, inclusive, una lógica de infinitos valores. Estas nuevas construcciones, evidentemente, ya no respetan las viejas reglas de la deducción y, sobre todo, restan toda validez al principio del tercero excluido (en ellas, en efecto, una proposición ya no tendrá que ser necesariamente "o verdadera o falsa", pues también resulta "indeterminada").

Sin detenernos en los desarrollos particulares de estas nuevas investigaciones, estamos dispuestos desde ahora a reconocer con toda franqueza que se han mostrado bastante útiles, ya para permitirnos tratar con profundidad mayor varios problemas científicos (por ejemplo, los relacionados con el cálculo de probabilidades), ya para ayudarnos a proceder con mayor agilidad en la construcción de nuevas teorías. Estos méritos son, sin duda, suficientes para justificar plenamente, desde el punto de vista científico, los esfuerzos de los lógicos y para considerarlos como una notable conquista del pensamiento científico moderno.

Pero, con igual franqueza, debemos observar que estas investigaciones no modifican en manera alguna el problema de fondo, al cual aludimos hace poco,

que atañe a las relaciones entre racionalidad y pensamiento científico. Sería erróneo, en efecto —a nuestro modo de ver—, identificar toda la racionalidad con la lógica matemática. Ésta constituye una de las técnicas empleadas por la razón humana con objeto de perfeccionarse (y, sobre todo, perfeccionar los procesos matemáticos), pero no constituye la única técnica de la razón.

Si por racionalidad en sentido científico (es decir, en sentido operativo, no metafísico) entendemos, como ya lo dijimos, aquella actividad característica del hombre que le impulsa a construir raciocinios cada vez más controlados en todas sus relaciones, debemos reconocer que no puede agotarse con una sola técnica y, tampoco, con un número preciso de técnicas. No existe, en efecto, ningún fundamento para la pretensión de fijar, *a priori,* cuáles serán las técnicas racionales del mañana. La originalidad, siempre presente en el pensamiento científico, puede sugerirle caminos hoy imprevisibles.

Nos oponemos a levantar cualquier tipo de barrera ante el pensamiento científico en continuo desarrollo; no entendemos, empero, renegar de las relaciones que constantemente vinculan la construcción de una nueva técnica con los resultados de las técnicas precedentes. Algunos lógicos del neopositivismo vienés y estadounidense creyeron que podían dejarse de lado estos vínculos y han caído en el error de presentar las teorías científicas como meros juegos, regulados por leyes rigurosamente convencionales.

Quien tenga presente —como tratamos de hacerlo en este trabajo— los profundos nexos que siempre existen entre una teoría científica, aun nueva y originalísima, y el nivel cultural de la sociedad donde surge y se afirma debe rechazar de la manera más enérgica este "convencionalismo" excesivo. Afirmar que no existe una lógica única, que no existen teorías científicamente "absolutas", no significa de ninguna manera desconocer la profunda e inevitable continuidad de la historia del pensamiento científico, y mucho menos el hecho de que todo descubrimiento científico está condicionado por una realidad social.

Sin la pretensión de caracterizarse como "racionalidad absoluta en sentido metafísico", el pensamiento científico tiene plena conciencia de ser una de las más elevadas expresiones de la razón humana, la cual se desarrolla en el mundo concreto de la historia, colabora poderosamente para mejorarlo y, justamente por tener conciencia del peso de su propia contribución, sabe que remplazar una teoría vieja por una nueva no significa sustituir un juego por otro, sino proporcionar a la humanidad medios cada vez más eficaces para "transformar" el mundo.

El hecho, históricamente incuestionable, de que la ciencia exista y de que, visibles para todos, existan las transformaciones que ha provocado en el mundo, es, a mi entender, la mejor prueba de que existe una efectiva racionalidad en el género humano; quien prefiera una demostración *a priori* de tal racionalidad puede ir a buscarla en las definiciones metafísicas del ser humano.

Igualmente, el hecho de que exista, incuestionablemente, una profunda continuidad histórica entre las distintas fases del pensamiento científico, no obstante la multiplicidad de las técnicas que genialmente ha inventado para acrecentar la acción del hombre sobre el mundo, es, a mi entender, la mejor prueba de la unidad de la razón que actúa en ese pensamiento. Es una unidad dinámica que acaso no satisfaga a los metafísicos porque no se funda sobre pruebas

absolutas *a priori*, pero que satisface plenamente a los científicos, porque se ve confirmada por innumerables controles, es decir, por el éxito práctico cotidiano de nuestros esfuerzos concretos para entendernos recíprocamente y para colaborar al unísono en el desarrollo del pensamiento científico, más allá de cualquier barrera *a priori*.

Así como la unidad, las demás características de la racionalidad humana pueden recabarse del análisis de lo que la ciencia ha operado y está operando en el mundo. El breve examen que hemos realizado, aun en su esquematismo, puede ayudarnos a comprender que la ciencia es una racionalidad viva, animada por un esfuerzo continuo para comprenderse y mejorarse, eliminando de sus propios métodos y principios todo residuo dogmático, para demostrar con su propio éxito que todo el mundo —comprendido el mundo mismo de nuestras construcciones científicas— es trasformable ilimitadamente por la razón humana.

Quien, no obstante, se atreva todavía hoy a hablar de "abstracción" y de "mecanicidad" del pensamiento científico, quien pretenda presentárnoslo como una actividad inferior que carece de interés para el pensamiento "verdadero", se arriesga, con sus propias palabras, a parecer un conocedor muy superficial de lo que discute y, por lo tanto, un pésimo representante de ese pensamiento humano que cree defender.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN		5
CAPÍTULO I.	Comienzos del pensamiento científico (Pitágoras)	7
CAPÍTULO II.	Dificultades del lenguaje común y formación del lenguaje geométrico (Los sofistas - Euclides)	10
CAPÍTULO III.	La tentación metafísica (Platón)	17
CAPÍTULO IV.	Por qué los griegos no tuvieron una ciencia física	21
CAPÍTULO V.	Fidelidad al pasado y exigencia innovadora	27
CAPÍTULO VI.	El nacimiento de la ciencia experimental (Galileo-Newton)	33
CAPÍTULO VII.	La confianza en la razón humana (Descartes-Los iluministas)	40
CAPÍTULO VIII.	El peligro de transformar la ciencia en metafísica (El positivismo)	46
CAPÍTULO IX.	La nueva metodología	52
CONCLUSIÓN		61

Esta edición se terminó de imprimir
en La Ley S.A.E. e I. Av.Rivadavia 130
Avellaneda-Buenos Aires-Argentina
en el mes de Abril de 1994

EUDEBA CUADERNOS

creative commons

EL PENSAMIENTO CIENTIFICO

L. Geymonat

Autor de importantes trabajos sobre historia y filosofía de la ciencia, profesor en la Universidad de Pavia (Italia), Ludovico Geymonat expone y defiende en este libro su interpretación del pensamiento científico, lo sigue a través de los momentos más significativos de su historia, analiza su estructura constitutiva, señala algunas de las características más notables que lo distinguen claramente del raciocinio espontáneo y del pensamiento metafísico, advierte contra el peligro del positivismo, al que caracteriza como una mezcla híbrida de ciencia metafísica. Explica la naturaleza de este peligro y sus consecuencias y, finalmente, destaca —de acuerdo con las exigencias críticas o metodológicas que se pusieron de manifiesto en los últimos decenios en las ciencias particulares— la necesidad de volver a definir muchos conceptos en función de los métodos de verificación.

Reproducimos a continuación un párrafo representativo de la jerarquía del pensamiento del autor, que sintetiza algunas de las ideas centrales de este libro: "Sin la pretensión de caracterizarse como 'racionalidad absoluta en sentido metafísico', el pensamiento científico tiene plena conciencia de ser una de las más elevadas expresiones de la razón humana, la cual se desarrolla en el mundo concreto de la historia, colabora poderosamente para mejorarlo y, justamente por tener conciencia del peso de su propia contribución, sabe que remplazar una teoría vieja por una nueva no significa sustituir un juego por otro, sino proporcionar a la humanidad medios cada vez más eficaces para 'transformar' el mundo."

OTROS TITULOS DE EUDEBA

SOCRATES / R. Mondolfo
SOCIEDADES ANIMALES, SOCIEDAD HUMANA / P. Chauchard
HISTORIA DE LAS TECNICAS/ P. Ducassé
INTRODUCCION A LA FILOSOFIA ANTIGUA / A.H. Armstrong

CU 0370
ISBN 950-23-0563-4